

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

SAR-SATELLIITTIEIEN HYÖDYNTÄMINEN MERIVALVONNASSA

EUK:n tutkielma

Kapteeniluutnantti
Jarmo Säkkinen

Esiupseerikurssi 63
Merisotalinja

Huhtikuu 2011

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi Esiupseerikurssi 63	Linja Merisotalinja
Tekijä Kapteeniluutnantti Jarmo Säkkinen	
Tutkielman nimi SAR-satelliittien hyödyntäminen merivalvonnassa	
Oppiaine johon työ liittyy Operaatiotaito ja taktiikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Huhtikuu 2011	Tekstisivuja 43 Liitesivuja 6
TIIVISTELMÄ <p>Yhteiskunnan eri toimijoiden riippuvuus avaruustoiminnasta on kasvamassa. Satelliittien paikka- ja aikatietojen lisäksi satelliittien valvontakyvyn hyödyntäminen on lisääntymässä. Merivoimat on mukana kansainvälisissä merivalvontahankkeissa, muun muassa Euroopan puolustusviraston johtamassa Maritime Surveillance -hankkeessa, jossa hyödynnetään satelliittien valvontakykyä merialueiden valvonnassa. Tämä tutkimuksen tavoitteena on selvittää miten SAR (Synthetic Aperature Radar) -satelliitteja voidaan hyödyntää merivalvonnassa ja mitkä ovat merivalvonnan tietotarpeet sekä SAR-aineistojen saatavuus.</p> <p>Tutkimus toteutettiin laadullisena kartoittavana tutkimuksena, jossa lähtökohtana oli aineistolähtöinen tutkimusote. Tutkimusmenetelminä käytettiin asiakirjatutkimuksen ja haastattelututkimuksen yhdistelmää. Asiakirjatutkimuksella muodostettiin perusaineisto kartoittamalla merivalvonnan ja meritilannekuvan muodostamisen perusteita Puolustusvoimien ohjesäännöistä ja oppaista. SAR-satelliittijärjestelmien perusteita kartoitettiin alan ammattikirjallisuudesta ja julkaisuista sekä SAR-satelliittien käyttömahdollisuuksia merialueiden valvonnassa aihepiiriin liittyvistä tieteellisistä julkaisuista. Asiakirjatutkimuksessa muodostuneita teemoja syvennettiin haastattelemalla teema-alueiden asiantuntijoita.</p> <p>Tutkimuksen perusteella merivalvonnan tärkeimmät tietotarpeet ja SAR-satelliitteille asetettavat vaatimukset muodostuvat kyvystä tuottaa valvontatietoa lähes reaaliajassa ympäri vuorokauden kaikissa sääolosuhteissa sekä kyvystä havaita ja luokitella aluskohteita. Merivalvonnassa korostuvat lisäksi SAR-satelliittien laaja alueellinen kattavuus, alueellinen erotuskyky sekä ajallinen erotuskyky eli valvontakuvausten toistettavuus. Esianalysoidut valvontatiedot kyetään toimittamaan tilaajalle 10–30 minuutin kuluessa valvontakuvauksesta. Tällä hetkellä merivalvonnassa SAR-satelliittien valvontatietoja ei käytetä yksistään tunnistetun meritilannekuvan muodostamiseen, vaan tiedot yhdistetään muiden valvontasensoreiden tietoihin.</p> <p>Johtopäätöksinä voidaan todeta SAR-satelliittien suorituskykyjen riittävän Itämerellä toimivien taistelualusten havaitsemiseen. Suurimpana SAR-satelliittien hyödyntämisen esteenä on yksittäisten satelliittien pieni ajallinen erotuskyky ja siitä johtuva SAR-aineistojen saatavuus. Ajallisesta erotuskyvystä huolimatta SAR-satelliiteilla voidaan tuottaa lisäarvoa merivalvontaan. Normaaliolojen aikana SAR-aineisto täydentää ja varmentaa kansainvälisten sopimusten perusteella saatavaa meritilannekuvaa Itämeren alueella sekä häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa täydentää meritilannekuvaa oman valvontakyvyn ulkopuolelta erityisesti Pohjois-Itämereltä Suomenlahden suun eteläpuolelta aina Etelä-Itämerelle asti. Satelliittivalvonnan laaja ulottuvuus mahdollistaa merikuljetusten suojaamiseen tarvittavan alueellisen ja ajallisen tilannekuvan muodostamisen sekä ennakkovaroituksen antamisen Etelä-Itämereltä.</p>	
AVAINSANAT Merivalvonta, meritilannekuva, SAR (Synthetic Aperature Radar) -satelliitti	

TUTKIELMAN SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1.	Tutkimuksen tausta ja aiempi tutkimus.....	3
1.2.	Tutkimuksen päämäärä ja viitekehys	5
1.3.	Tutkimusongelma ja -menetelmät.....	6
1.4.	Tutkimuksen näkökulma ja rajaukset.....	8
1.5.	Peruskäsitteiden määrittely	9
1.6.	Lähdeaineisto	10
2.	MERIVALVONTA JA MERITILANNEKUVAN MUODOSTAMINEN	11
2.1.	Merivalvonnan perusteet	11
2.2.	Meritilannekuvan muodostamisen perusteet.....	12
2.3.	Yhteiskäyttöiset valvontajärjestelmät	13
2.4.	Merivalvonta ja kansainvälinen yhteistyö.....	15
2.5.	Merivalvonta häiriö- ja poikkeustilanteissa	16
2.6.	Merivalvontasensorilta vaadittava suorituskky.....	19
3.	SAR-SATELLIITTIJÄRJESTELMÄT.....	20
3.1.	Synteettisen apertuurin tutka (SAR)	21
3.2.	Alueellinen erotuskky	22
3.3.	Ajallinen erotuskky	25
3.4.	Alueellinen kattavuus.....	27
3.5.	Polarisaatio.....	29
3.6.	Satelliittiaineistojen saatavuus	30
4.	SAR-SATELLIITIT MERIVALVONTASENSOREINA.....	32
4.1.	Alusten havaitseminen, luokittelu ja tunnistaminen	33
4.2.	Alusten paikka- ja liiketekijöiden määrittäminen	35
4.3.	Eri kuvausmoodien vaikutus valvontakkyyn	37
5.	KOOTUT TUTKIMUSTULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	38

LÄHTEET

LIITTEET

LIITE 1: Koonnos SAR-satelliittien teknisistä ominaisuuksista

LIITE 2: National Image Interpretability Rating Scales -taulukko

LIITE 3: Koonnos Itämerellä toimivista taistelualuksista

LIITE 4: TerraSAR-X -satelliitin kuvausmoodien alueellinen kattavuus Itämeren alueella

LIITE 5: Alusten luokittelu ja tunnistaminen korkean erotuskyyyn SAR-satelliittikuvista

SAR-SATELLIITTIIEN HYÖDYNTÄMINEN MERIVALVONNASSA

1. JOHDANTO

Avaruustoiminnan mahdollisuuksia hyödynnetään kansalaisten, viranomaisten ja yritysten toimenpitein päivittäin. Nähtävissä on myös yhteiskunnan eri toimijoiden riippuvuuden kasvaminen avaruustoiminnasta.¹ Tulevaisuudessa Suomessa ollaan entistä riippuvaisempia satelliittien tuottamasta paikka- ja aikatiedosta. Muiksi Suomen kannalta tärkeiksi avaruustoiminnan osa-alueiksi on tunnistettu kuvaus- ja kaukokartoitustietojen sekä satelliittien valvontakyvyn hyödyntäminen.²

Pienenevien määrärahojen myötä kansainvälinen yhteistyö on Suomelle välttämätöntä avaruustoiminnan mahdollisuuksien hyödyntämiseksi. Osallistuminen kansainväliseen yhteistyöhön edistää kansallisen osaamisen lisääntymistä ja tukee kansallisia päämääriä, kuten viranomaistoimintaa ja maanpuolustusta. Kansallisen avaruusstrategian mukaisesti Suomen tulisi lisätä turvallisuuteen liittyvää kansainvälistä vuorovaikutusta ja osallistua avaruus- ja turvallisuussektorin yhteistyöhön sekä Euroopan puolustusviraston (EDA) avaruustyöryhmiin. Esi-merkkinä kansainvälisestä yhteistyöstä on Euroopan yhtenäinen avaruuspolitiikka ja sen strategiset tavoitteet, jotka hyväksyttiin 22. toukokuuta 2007. Euroopan unionin (EU), Euroopan avaruusjärjestön (ESA) ja jäsenmaiden yhteistyönä valmisteltu strategia korostaa avaruustoiminnan ulko- ja turvallisuuspoliittista vaikutusta. Euroopan puolustusvirasto tukee EU:n strategian mukaisesti avaruusalan tutkimus- ja kehittämistoimintaa. Puolustusviraston tehtävänä on kartoittaa avaruuden hyödynnettävyyttä sotilaallisen suorituskyvyn kannalta.³

Tähän mennessä Suomi on tukenut kansainvälistä rauhanomaista yhteistyötä, kriisinhallintaa ja avustustoimia, jotka enenevästi hyödyntävät satelliittitietoliikennettä ja satelliittikaukokartoitusta. Kansallinen avaruusstrategia suosittelee, että Suomen tulisi selvittää tarpeet ja mahdollisuudet satelliittikapasiteetin hankkimiseksi joko viranomaisyhteistoiminnassa tai kansainvälisenä yhteistoimintana. Nähtävissä on, että avaruuden hyödyntämisellä on keskeinen merkitys verkostokeskeisen ja kansainvälisesti yhteensopivan puolustusjärjestelmän kehittämisessä sekä suorituskykyjen käytössä yhteistoiminnassa muiden viranomaisten kanssa.⁴

¹ *Kansallinen avaruusstrategia 2009–2011 - periaatteet, tavoitteet ja toimenpiteet*, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, innovaatio 11/2009, Edita Publishing Oy, Helsinki 2009, s. 4 ja 17–18.

² *Avaruusulottuvuus Suomen puolustuksessa*, Puolustusministeriön muistio (247/14/2006) 5.9.2006, TLL IV Viranomaiskäyttö.

³ *Kansallinen avaruusstrategia 2009–2011 - periaatteet, tavoitteet ja toimenpiteet*, s. 4 ja 17–18.

⁴ Sama, s. 14–15 ja 24.

Satelliittien mahdollistama valvonta-, kuvaus- ja kaukokartoituskyky ovat ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää tiedustelu- ja valvontajärjestelmissä. Tiedustelu- ja valvontajärjestelmän tavoitteena on tuottaa tietoa strategisen, operatiivisen ja taktisen tason johtamisjärjestelmiin päätöksenteon tueksi ja ylläpitää johtamiseen tarvittavaa tilannekuvaa. Tiedustelujärjestelmän tulee ulottuvuutensa puolesta kyetä seuraamaan lähialueella olevaa tai sinne vaikuttamaan kykenevää sotilaallista voimaa. Tiedustelujärjestelmällä muodostettu reaaliaikainen tunnistettu tilannekuva mahdollistaa ennakkovaroituksen antamisen ja tukee alueellisen koskemattomuuden valvontaa ja turvaamista.⁵

Merivalvonnan yhtenä tehtävänä alueellisen koskemattomuuden valvonnan ja turvaamisen lisäksi on turvata Suomen yhteiskunnalle elintärkeä häiriötön meriliikenne. Tehtävä asettaa vaatimukset merivalvonnan toteuttamiselle sekä normaali- että poikkeusoloissa. Tämän päivän merivalvonnalla tulee olla kyky tuottaa meritilannekuvaa alueilta, jotka ovat Suomen intressien mukaisia.⁶ Tavoitteeseen pääsemiseksi Merivoimien tavoitteena on kansallisesti ja kansainvälisesti kehittyvässä merivalvonnassa kyetä luomaan ”tunnistettu meritilannekuva ja siihen yhdistettyjen lisätietojen perusteella saavuttaa meritilannetietoisuus, joka on nykyistä tunnistettua meritilannekuvaa parempi tietämys tapahtumista ja toiminnasta merialueella”⁷. Asetettuun tavoitteeseen pääseminen edellyttää valvontatietojen yhdistämistä yhä monipuolisemmista valvontajärjestelmistä ja eri viranomais- ja yhteistoimintatahoilta⁸.

Tilannekuvan mahdollistama tilannetietoisuus on oleellinen osa nykyaikaista sodankäyntiä, jossa korostuvat lisäksi nopeus, tempo, liikkuvuus, vaikuttamisen ulottuvuus sekä avaruuden hyödyntäminen. Valtioneuvoston vuoden 2009 Turvallisuus- ja puolustuspoliittisen selonteon yhtenä keskeisenä Puolustusvoimien kehittämiskohteena oli yhteisen tilannetietoisuuden muodostaminen. Siihen päästään kehittämällä tiedustelun, valvonnan ja maalittamisen järjestelmiä painopisteenä ennakkovaroituskyvyn vahvistaminen, tilannekuvan analysointi- ja jakamiskyky sekä reaaliaikainen valvonta- ja maalitilannekuvan tuottaminen.⁹ Avaruuden hyödyntäminen ja satelliittiteknologian käyttö voidaan nähdä yhtenä keinona maalitilannekuvan tuottamisessa ja kaukovaikutteisten täsmäaseiden maalinosoituksen kehittämisessä.

⁵ *Kenttäohjesääntö, yleinen osa*. Puolustusjärjestelmän toiminnan perusteet, Pääesikunta/Suunnitteluosasto, Ohjesääntönumero 202, Edita Prima Oy, Helsinki 2007, TLL IV Viranomaiskäyttö, s. 40.

⁶ Kaskeala, Juhani: International sea surveillance co-operation in the Baltic Sea region, *Baltic Rim Economies, Bimonthly Reviews* 3/2009, Pan-European Institute, Turku School of Business Administration, s. 12.

⁷ *Merivoimien suorituskykyjen jatkuvan johtamisen ja merivalvonnan kehittäminen 2010–2012*, Merivoimien esikunta, DF12034 (16.12.2009), TLL IV Viranomaiskäyttö, s. 2.

⁸ Kaskeala (2009), s. 12.

⁹ *Suomen turvallisuus- ja puolustuspolitiikka*, Valtioneuvoston selonteko VNS X/2009, s. 11, 57 ja 100.

1.1. Tutkimuksen tausta ja aiempi tutkimus

Merivoimissa on käynnissä Merivoimien suorituskykyjen jatkuvan johtamisen ja merivalvonnan kehittäminen 2010–2012 uudistamisjärjestelyt. Merivalvonnan uudelleenorganisoinnin lähtökohtana on korostaa Merivoimien operatiivisen tilannekuvan (yleistilanne, perustilanne, tunnistettu meritilanne ja meritilannetietoisuus) merkitystä johtamisen perustekijänä. Tavoitteena on, että rauhan ajan suorituskykyjen jatkuvan johtamisen ja merivalvonnan resursseilla kyetään vastaamaan tulevaisuuden johtamisessa sekä kansallisesti että kansainvälistyvästi kehittyvässä merivalvonnassa tunnistettuihin vaatimuksiin.¹⁰

Merivoimissa on toteutettu avaruusteknologioiden hyödyntämiseen tähtäävää tutkimustoimintaa noin 15 vuoden ajan. Osana tutkimustoimintaa on ollut satelliittijärjestelmien käyttö merialueiden valvonnassa painopisteenä saaristo-olosuhteet. Näissä tutkimuksissa mielenkiinto on kohdistunut valaistus- ja sääolosuhteista riippumattomien tutkasatelliittien tutkimukseen. Tutkimustoiminta on liittynyt EDA:n johtamaan Maritime Surveillance (MARSUR) -hankkeeseen.¹¹ MARSUR-hankkeen tavoitteena on luoda EU:n yhteinen meritilannekuva sekä mahdollistaa valvontatietojen vaihtaminen ja välittäminen osallistujamaiden välillä. MARSUR-hanke koostuu useammista alatyöryhmistä. Suomi johtaa alatyöryhmistä Maritime Surveillance Networking-työryhmää, johon osallistuu kaikkiaan 15 jäsenvaltiota.¹²

Aikaisempien tutkimusten ja MARSUR-hankkeesta saatujen kokemusten myötä on havaittu SAR-satelliittien hyödyllisyys¹³ ja tämän takia tutkimustoimintaa jatketaan Merivoimissa ainakin uusien korkean resoluution SAR-satelliittien osalta.¹⁴ Merivoimilla on vuoden 2010 lopussa voimaan tullut sopimus norjalaisen Kongsberg Satellite Servicen (KSAT) kanssa SAR-satelliittikuvien ja niiden perusteella muodostetun valvontatiedon saamisesta Merivoimien käyttöön. Sopimuksen mukaisesti seuraavan kolmen vuoden ajan käyttöön saadaan 1–3 SAR-satelliitin kuvaa vuorokaudessa erikseen määritetyltä alueelta. Saatavat kuva-aineistot ovat RADARSAR 1–2-, ENVISAT- ja SAR-Lupe-satelliittien aineistoja. Kongsbergin aineistojen käyttöön saaminen perustuu Euroopan avaruusjärjestön ESA:n (European Satellite Associati-

¹⁰ Merivoimien suorituskykyjen jatkuvan johtamisen ja merivalvonnan kehittäminen 2010–2012, TLL IV Viranomaiskäyttö s. 2.

¹¹ Merivoimien lausunto avaruuteen sijoitetusta suorituskyvystä, Merivoimien esikunta, TLL IV Viranomaiskäyttö.

¹² Maritime Surveillance, EDA Bulletin, Issue 13 – February 2010a, s. 19, <http://www.eda.europa.eu/documents.aspx>, 28.12.2010.

¹³ Kalliomäki Martti, FT, MERIVTL, SAR-satelliitit merivoimien tutkimustoiminnassa, haastattelu 14.11.2010, materiaali kirjoittajalla ja Soininen Olli, yliluutnantti, MERIVE, Merivalvonta ja SAR-satelliitit merivoimien tutkimustoiminnassa, haastattelu 11.12.2010, materiaali kirjoittajalla. Molemmat haastatelluista toivat esille SAR-satelliittien käytöstä saadut hyvät kokemukset merialueiden valvontaan liittyen.

¹⁴ Merivoimien lausunto avaruuteen sijoitetusta suorituskyvystä.

on) rahoittamaan MARISS (European Maritime Security Service) -hankkeeseen.¹⁵ MARISS-hanke on puolestaan osa EU:n laajaa GMES (Global Monitoring for Environment and Security) -ohjelmaa.¹⁶ Merivoimissa tutkimuksien tavoitteena on saada kokemuksia yhteistoiminnasta kaupallisen palveluntarjoajan kanssa, löytää menetelmiä satelliittiaineiston sovittamiseksi osaksi meritilannekuvaa ja kouluttaa omaa henkilöstöä satelliittiaineistojen käyttöön.¹⁷

Maanpuolustuskorkeakoulussa on tehty tutkimuksia satelliittiteknologian hyödyntämisestä. Lähimpänä aihealuetta olevat tutkimukset ovat:

- Rusila, Tuomo: *Kaupallisten kaukokartoitussatelliittien käyttö kuvaustiedustelussa*, MPKK, kadettitutkielma, 2004
- Tolvanen, Pasi: *SAR-satelliitin sotilaalliset käyttömahdollisuudet Suomessa (TLL IV)*, MPKK, EUK60 tutkielma, 2008
- Tolvanen, Pasi: *FINSAR 2020 – Suomen SAR-satelliittijärjestelmän operatiivinen konsepti (TLL III)*, MPKK, YEK54 diplomityö, 2009
- Roivas, Raine: *Ilmasta-maahan aseiden vaatima maalitieto (TLL IV)*, MPKK, EUK62 tutkielma, 2010.

Toteutetut tutkimukset käsittelevät satelliittiteknologian hyödyntämistä tiedustelussa maalueilla painottuen maalinosoitukseen, eivätkä ne suoranaisesti anna vastauksia satelliittiteknologian käytölle merellisessä toimintaympäristössä ja olosuhteissa. Kapteeni Pasi Tolvasen esiapseerikurssin tutkielma sekä yleisesiupseerikurssin diplomityö antavat perusteita ennen kaikkea SAR-satelliiteista ja niiden suorituskyvyistä. Kapteeni Raine Roivas on tutkielmasaan esitellyt useita kaupallisiin tarkoituksiin käytettyjä optisen alueen satelliitteja.

Tehdyistä tutkimuksista kapteeni Tolvasen tutkimuksia hyödynnettiin tässä tutkimuksessa tausta-aineistona kuvattaessa eri satelliittien ominaisuuksia ja suorituskykyä. Tolvasen esiapseerikurssin tutkielmassa ”SAR-satelliitin sotilaalliset käyttömahdollisuudet Suomessa” (TLL IV) on kattavasti kuvattu SAR-satelliittien ominaisuuksia, jotka ovat oleellisia käytettäessä satelliitteja tiedustelu- ja valvontasensorina.

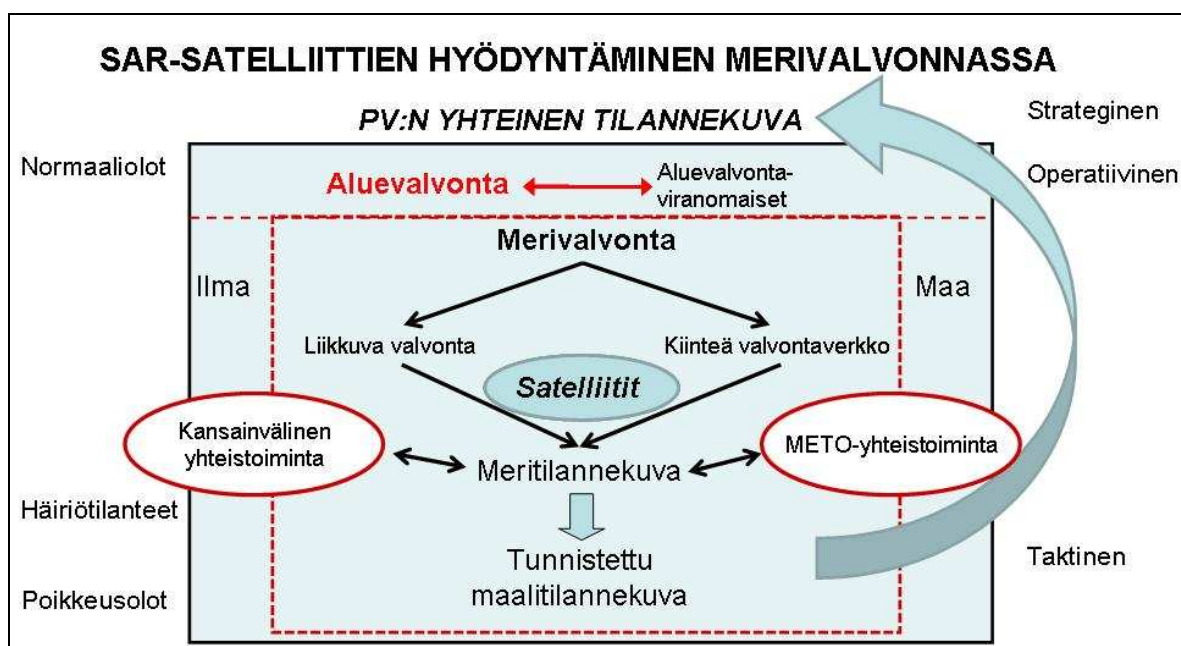
¹⁵ Soininen.

¹⁶ Beer, Thomas: *The GMES Programme*, Galileo Application Days, GMES Master Award, 04 March 2010, Brussels, http://www.application-days.eu/presentations/day2/gmes_award_at_galileo_application_days.pdf, 13.1.2011.

¹⁷ Soininen.

1.2. Tutkimuksen päämäärä ja viitekehys

Tutkimuksen päämääränä on tutkia SAR-satelliittien hyödyntämistä merivalvonnassa. Tutkimuksessa kartoitetaan merivalvonnan toteutusperiaatteet ja meritilannekuvan muodostamisperiaatteet sekä oleellimmat tietotarpeet tunnistetun meritilannekuvan muodostamiseksi yhteiskunnan eri turvallisuustilanteissa. Satelliittijärjestelmien osalta kartoitetaan merivalvontaan käytettäviä satelliittijärjestelmiä sekä yksittäisiä kaupallisia kaukokartoitussatelliitteja. Satelliiteista selvitetään niiden suorituskyvyt ja mitkä ovat järjestelmien mahdolliset käytettävyydet merivalvonnassa.



Kuva 1. Tutkielman viitekehystenä oleva merivalvonta- ja meritilannekuvan muodostamisprosessi taktisella puolustushaarasalla ja sen liittyminen strategiselle Puolustusvoimien yhteisen tilannekuvan tasolle.

Kuvassa 1 on esitetty tutkielman viitekehys. Tutkielmassa käsiteltävä merivalvonta toteutetaan kiinteän valvontaverkon ja liikkuvan valvonnan keinoin. Valvonnan avulla muodostetaan samalla Suomen merialueelta meritilannekuvaa. Meritilannekuvaa täydennetään merellisten toimijoiden (METO) yhteiskäyttöisten järjestelmien avulla. Merivalvonta on aluevalvontalain säätlemää ja aluevalvontaviranomaisten toteuttamaa alueellisen koskemattomuuden valvontaan ja turvaamiseen tähtäävää toimintaa. Merivoimat on yksi merialueilla aluevalvontaa suorittavista aluevalvontaviranomaisista. Merivoimien tärkeimpiä tehtäviä merivalvontaan liittyen on koota meritilannekuvaa Suomen alueelta ja jakaa sitä tarvittavassa laajuudessa eri viranomaisille¹⁸. Meritilannekuva on kyttävä muodostamaan kaikissa yhteiskunnan turvallisuustilanteissa: normaalioloissa, häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. Suomen kansallista meri-

¹⁸ Merivalvontaohje (MEVO), Merivoimat, Helsinki 2002, TLL IV Viranomaiskäyttö, s 11–12.

tilannekuvaa täydennetään kansainvälisen yhteistyön avulla saatavalla meritilannekuvalla koko Itämeren alueelta.

Merivalvonnan ja meritilannekuvan muodostamisen tavoitteena on kattavan merellisen tilannekuvan muodostaminen. Tilannekuvalla luodaan tilannetietoisuus lähialueelta, perusteet johtamistoiminnalle ja turvallisuustilanteiden arvioinnille. Meritilannekuva on oleellinen osa puolustusvoimien yhteistä tilannekuvaa ja tärkeä osa puolustusvoimille ja merivoimille kaskettyjen tehtävien hoitamista.

1.3. Tutkimusongelma ja -menetelmät

Tutkielman pääkysymyksenä oli: ”Miten SAR-satelliitteja voidaan hyödyntää merivalvonnassa?”

Tutkimuksen pääkysymyksestä johdettiin seuraavat alakysymykset tutkimusongelman selvittämiseksi:

- mitkä ovat meritilannekuvan muodostamisen tietotarpeet
- miten käytössä olevat SAR-satelliittijärjestelmät kykenevät vastaamaan merivalvonnan tarpeisiin
- mikä on SAR-satelliittiaineistojen saatavuus?

Tutkimus toteutettiin laadullisena kartoittavana tutkimuksena. Tutkimuksen lähtökohdaksi valittiin aineistolähtöinen eli induktiivinen tutkimusote. Aineistolähtöisessä tutkimuksessa pääpaino on aineistossa itsessään, mikä tarkoittaa, että tutkimus etenee yksittäisistä havainnoista kohti yleisempiä väittämiä.¹⁹ Huttusen ja Meterin (2009) mukaan aineistolähtöinen analyysi edellyttää tutkijalta erityistä objektiivisuutta, jotta analyysi etenee tietolähteiden ja haastatteluvien ehdoilla, eikä tutkijan omien ennakkoluulojen mukaisesti²⁰. Laadullisessa tutkimuksessa, kuten tässäkin tutkimuksessa, osa aineistosta koostuu empiirisestä eli kokemuksellisesta aineistosta.²¹

Menetelmällisesti tutkimuksessa käytettiin asiakirjatutkimuksen ja haastattelututkimuksen yhdistelmää. Asiakirjatutkimuksen keinoin muodostettiin tutkimuksen perusaineisto, jota täydennettiin teemahaastattelujen muodostamalla empiirisellä aineistolla. Teemahaastattelu valit-

¹⁹ Eskola, Juha, Suoranta, Juha: *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*, Vastapaino, Tampere 1998, s. 83.

²⁰ Huttunen, Mika, Metteri Jussi (toim.): *Ajatuksia operaatiotaidon ja taktiikan laadullisesta tutkimuksesta*, Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, Helsinki 2008, s. 51.

²¹ Eskola, Suoranta (1998), s. 19.

tiin tiedonkeruumuodoksi asiakirjatutkimuksen lisäksi, koska sillä voidaan täydentää asiakirjatutkimuksen perusteella avoimiksi tai havaitsemattomaksi jääneitä asiakokonaisuuksia²². Lisäksi teemahaastattelun käyttöä puolsi sen soveltuvuus aikaisemmin vähän tutkitun ja heikosti tunnetun aihepiirin tutkimiseen. Tällöin haastatteleamalla aihealueeseen liittyvän suppeamman osa-alueen asiantuntijoita, voidaan saada uutta tietoa tutkittavasta kokonaisuudesta.²³ Haastateltaviksi valittiin henkilöitä, joilla oli omakohtaisia kokemuksia meritilannekuvan muodostamisesta tai satelliittiaineistojen käytöstä ja tutkimuksesta.

Kokonaisuudessaan tutkimus sisälsi kaksi vaihetta. Ensimmäisessä vaiheessa kartoitettiin aihepiiriin kuuluvat asiakokonaisuudet ja toisessa vaiheessa suoritettiin aineiston analysointi ja tulkinta. Tutkimuksen eteneminen vastaa kokemustutkimuksen etenemistä, jossa on kaksi vaihetta: aineiston kuvaus ja tulkinta²⁴.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa eli kuvailevassa vaiheessa kartoitettiin meritilannekuvan muodostamisperiaatteita ja muodostamisen tietotarpeita asiakirjatutkimuksen avulla. Aineistoa pyrittiin syventämään teemahaastatteluilla, joiden pääpainona olivat SAR-satelliiteista saadut kokemukset ja meritilannekuvan tietotarpeet eri turvallisuustilanteissa. Seuraavaksi asiakirjoihin ja kirjallisuuteen perustuen kartoitettiin eri satelliittijärjestelmien ominaisuuksia. Myös tätä aineistoa syvennettiin teemahaastatteluilla, joiden painopisteenä oli satelliittien ja kuva-aineistojen soveltuvuus meritilannekuvan muodostamiseen ja aineistojen saatavuus. Tutkimuksen ensimmäinen vaihe tuotti myös määrällistä aineistoa, kuten eri satelliittien kuvaus- ja suorituskyykyarvoja. Tätä aineistoa ei käsitelty erikseen määrällisin menetelmin, koska ne ovat suhteellisia kyseisistä tutkimusasetelmista ja -olosuhteista riippuvia arvoja. Määrällistä aineistoa käytettiin viitteinä SAR-satelliittien suorituskyykyä arvioitaessa.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa suoritettiin aineiston analysointi ja tulkinta. Analysoinnin yhteydessä pyrittiin aineistosta erottamaan tutkimusongelman kannalta olennainen aines²⁵. Erottaminen toteutettiin luokittelemalla eli teemoittelemalla aineistoa tutkimusongelmien ja niiden avulla muodostettujen teemahaastattelujen teemarunkojen avulla. Luokitellut aineistot yhdisteltiin omiksi kokonaisuuksiksi, jolloin saatiin kokoelma erilaisia vastauksia ja tuloksia esitet-

²² Huttunen, Metteri (2008), s. 90.

²³ Hirsjärvi, Sirkka, Hurme, Helena: *Tutkimushaastattelu – teemahaastattelun teoria ja käytäntö*, Yliopistopaino, Helsinki 2004, s. 59.

²⁴ Huhtinen, Aki, Rantapelkonen, Jari: *Taistelut, kokemus ja tieto – Näkemys sotatieteellisestä viestitaktiikasta*, Viestikoulu, Loimaa 2001, s. 206. Kirjassa viestitaktisesta tutkimusmenetelmästä käytetään nimitystä kokemustutkimus. Kokemustutkimus perustuu merkittävässä määrin tutkijan oman kokemuspohjan käyttöön asioiden poiminnassa ja tulkinnassa. Kirjoittajien mukaan kokemustutkimus perustuu hermeneuttiseen tutkimusperinteeseen.

²⁵ Eskola, Suoranta (1998), s. 151.

tyihin kysymyksiin. Aineiston tulkinta suoritettiin luokitellusta ja typistetystä aineistosta pyrkimällä löytämään tutkimusongelmien ja teemojen mukaisista aineistoista samankaltaisuuksia ja säännönmukaisuuksia.²⁶ Tulkintojen näkökulmana toimi meritilannekuvan muodostajan näkökulma eli kokonaisuuksista pyrittiin löytämään reunaehdot tietotarpeiden ja mahdollisten suorituskkyjen yhteensovittamiselle.

1.4. Tutkimuksen näkökulma ja rajaukset

Tutkimusaihetta lähestyttiin tilannekuvan muodostamisen näkökulmasta. Meritilannekuvan muodostamiseksi tarvittavat tietotarpeet ohjaavat eri turvallisuustilanteissa kiinteän ja liikku-
van valvontakyvyn suuntaamista mahdollisimman kattavan meritilannekuvan luomiseksi. Tutkimuksen johtopäätösluvussa tunnistettujen tietotarpeiden ja satelliittien suorituskkyjen suhdetta analysoitiin meritilannekuvan muodostamisen näkökulmasta.

Merivalvonnan osalta tutkimuksessa keskityttiin ainoastaan pinta-alusten valvontakyvyn selvittämiseen. Pinta-alusten osalta keskityttiin tarkastelemaan Itämeren valtioilla käytössä olevia ja Itämerellä toimivia taistelualuksia. Itämerellä toimien alusten avulla määritettiin vaatimukset minkä kokoisia aluksia SAR-satelliiteilla tulee kyetä havaitsemaan. Merivalvonnan osalta ei tarkasteltu pinnan alaista valvontakykyä eikä ilmatilan valvontakykyä, jotka muutoin kuuluvat merivalvonnan tehtäviin. Näiden alueiden kattava tutkiminen ei olisi vaatinut omat erilliset tutkimuksensa.

Olosuhdetekijöiden huomioiminen on oleellista toimittaessa Itämerellä ja suomalaisissa olosuhteissa. Merivalvontaa tulee kyetä toteuttamaan kaikissa valaistus- ja sääolosuhteissa vuorokauden - ja vuodenajasta riippumatta. Tämän takia tutkimuksessa rajoituttiin tarkastelemaan SAR-satelliittien hyödyntämistä merivalvonnassa. SAR-satelliitit mahdollistavat lähes kaikissa sääolosuhteissa ja kaikkina vuorokaudenaikoina tapahtuvan valvonnan.

Tutkimuksessa tutkasatelliittia käsiteltiin ”sensorina”, jonka soveltuvuutta merivalvontaan sekä meritilannekuvan muodostamiseen ja täydentämiseen selvitettiin. Satelliittien osalta ei selvitetty eri tiedonsiirtomenetelmiä tai niiden vaikutuksia käytettävyyteen. Tiedonsiirtomenetelmien vaikutus kuitenkin tiedostettiin tutkimuksessa, koska ne vaikuttavat kuva-aineistojen toimitusaikoihin satelliitista loppukäyttäjälle. Tutkimuksessa ei myöskään otettu kantaa kent-

²⁶ Sama, s. 155 ja Hirsjärvi, Hurme (2004), s. 149.

täohjesäännön yleisen osan (KOYL 2008) määrittämiin vastuualueisiin tiedustelutiedon ulottuvuuden tai tiedustelulajin mukaan²⁷.

Tutkimuksessa yhteiskunnan turvallisuustilanteina käytetään Suomen turvallisuus ja puolustuspoliittisen selonteon 2009 ja yhteiskunnan turvallisuusstrategian (YTS) mukaisia turvallisuustilanteita: normaalioloja, häiriötilanteita ja poikkeusoloja.

1.5. Peruskäsitteiden määrittely

Tutkimuksen tärkeimmät käsitteet ovat aluevalvonta, merivalvonta, meritilannekuva, tilannekuva ja satelliittijärjestelmä.

Aluevalvonta on aluevalvontalain säättämää aluevalvontaviranomaisten toteuttamaa Suomen alueellisen koskemattomuuden valvontaa ja turvaamista. Aluevalvontaviranomaisia ovat sotilas-, rajavartio-, poliisi- ja tulliviranomaiset. Liikennelaitos ja Ilmailulaitos toimivat aluevalvontaviranomaisina omilla toimialoillaan. Suomen alueellisen koskemattomuuden valvonnalla (AKV) tarkoitetaan aluevalvontaviranomaisten toimintaa ensisijaisesti Suomen rajoilla aluerikkomusten ja alueloukkausten ehkäisemiseksi, paljastamiseksi ja selvittämiseksi. Suomen alueellisen koskemattomuuden turvaamisella (AKT) tarkoitetaan puolustusvoimien ja muiden aluevalvontaviranomaisten voima- tai muita toimenpiteitä alueloukkauksen estämiseksi tai torjumiseksi.²⁸

Merivalvonta on aluevalvontalain määrittämien aluevalvontaviranomaisten suorittamaa Suomen meri- ja rannikkoalueella tapahtuvan meriliikenteen ja muun toiminnan jatkuvaa valvontaa, tavoitteena alueellisen loukkauksen ehkäiseminen ja paljastaminen sekä valtakunnan sotilaallista ja yleistä turvallisuutta vaarantavan toiminnan sekä vaara- ja onnettomuustilanteiden estäminen²⁹.

Meritilannekuva on merivalvonnan keinoin muodostettu tilannekuva merialueelta, jota ylläpidetään alueellisesti meripuolustusalueiden tilannekeskuksissa ja Länsi-Suomen merivartioston esikunnassa. Alueellisista tilannekeskuksista meritilannekuvaa välitetään tarpeellisessa laa-

²⁷ *Kenttäohjesääntö, yleinen osa*, (2007), s. 41. Kenttäohjesäännön mukaisesti Viestikoelaitos vastaa signaali- ja satelliittikuvaustiedustelusta sekä elektronisen sodankäynnin tukitoiminnasta.

²⁸ *Aluevalvontalaki (755/18.8.2000; KV 303)*, <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000755>.

²⁹ *Merivalvontaoimas (Meva-opas) Luonnos*, Merivoimat, ohjesääntönumero 513, Helsinki 2005, TLL IV Viranomaiskäyttö s 7.

juudessa eri johtoportaille ja viranomaisille. Valtakunnallinen meritilannekuva koostetaan Merivoimien Esikunnan tilannekeskuksessa.³⁰

Tilannekuva on tiedustelun ja valvonnan keinoin päättäjien ja heidän avustajien käyttöön tuotettu mahdollisimman oikea ja reaaliaikainen tieto tapahtuneista asioista, niihin vaikuttaneista olosuhteista, eri osapuolien tavoitteista ja tapahtumien mahdollisista kehitysvaihtoehdoista. Tilannekuvalla tuetaan johtajan päätöksentekoa jostakin asiasta tai asiakokonaisuudesta ja sen oikealla analysoinnilla kyetään antamaan ennakkovaroitus.³¹

Satelliitti on keinotekoinen maata tilapäisesti tai pysyvästi ympärikiertävälle radalle laukaistu kappale. Satelliitti voi olla joko miehitetty tai miehittämätön.³² Satelliitti voidaan varustaa erilaisilla hyötykuormilla riippuen käyttötarkoituksesta. Tässä tutkimuksessa hyötykuormana oletetaan olevan kaukokartoituskäyttöön soveltuva kuvantava synteettisen apertuurin tutka (Synthetic Aperture Radar, SAR).

1.6. Lähdeaineisto

Tutkimuksen keskeisimpinä lähteinä olivat SAR-satelliitteihin ja -kaukokartoitukseen liittyvä kirjallisuus, erilaiset tutkimusraportit sekä tekniset kuvaukset. Asiakirjoista saatua pohja-aineistoa täydennettiin teemahaastatteluin. Aihealueesta Maanpuolustuskorkeakoululla tehdyt tutkimukset on käsitelty aihealueen esittelyn yhteydessä. Julkisista lähteistä saatavia tutkimusraportteja, yleisiä suorituskykykuvauksia ja teknisiä tietoja käytettiin satelliittijärjestelmien teknisten tietojen selvittämiseen ja yleisen operatiivisen käyttöajatuksen tukena. Näiden lisäksi lähdeaineistona käytettiin tutkimusaiheeseen liittyvää kirjallisuutta:

- Campbell, James, P.: *Introduction To Remote Sensing*, Third Edition, Taylor & Francis, New York 2002
- Cracknell, Arthur, P., Hayes, Ladson: *Introduction To Remote Sensing*, Second Edition, CRC Press, Boca Raton 2007
- Friedman, Norman: *Seapower And Space*, Chatham Publishing, London, UK 2000
- Richards, John, A.: *Remote Sensing with Imaging Radar*, Springer-Verlag Heidelberg 2009.

Campbellin sekä Cracknellin ja Hayesin kirjoista löytyvät kaukokartoitustoiminnan sekä eri sensoreiden, mukaan lukien SAR-satelliitit, perusteet. Friedmanin kirja antaa perusteita suur-

³⁰ Merivalvontaohje (2002), s 11.

³¹ Sotatekninen arvio ja ennuste 2020 STAE 2020 Osa 2, Pääesikunta Sotatalousosasto, Helsinki 2004, s. 68.

³² Sama, s. 68.

valtameroimien intresseistä avaruuden ja satelliittiteknologian hyödyntämisessä. Kirja on aihepiirin kehitys huomioden vanhahko, mutta antaa näkemyksen peruseriaatteista ja käytön kehityskaaresta. Richardsin kirjassa käsitellään tarkemmin kuvantavia tutkasensoreita ja myös veden vaikutusta tutka-aaltojen heijastumiseen. Kirja lähestyy aihetta matemaattiselta pohjalta.

Mainittujen perusteosten lisäksi käytetään lähdeaineistona julkisista lähteistä löytyviä SAR-satelliittien käyttöä käsitteleviä tutkimuksia sekä kansainvälisten satelliittialan seminaareihin tehtyjä julkaisuja ja eri laitevalmistajien esitelmiä. Tutkimus- ja seminaariaineistoa on saatavilla runsaasti ja suurin osa aineistosta on kohtalaisen tuoretta. Viimeisimmät tutkimuksista keskittyvät kuitenkin vain korkean erotuskyvyn SAR-satelliittien käyttöön.

Tutkimusaineisto syventämiseksi valittiin haastateltaviksi aihealueen osakokonaisuuksien asiantuntijoita. Tutkimusta varten haastateltiin seuraavia henkilöitä:

- Aho Timo, YLIL, Valvontapäällikkö, SLMEPAE
- Kalliomäki, Martti, FT, tutkimusjohtaja, MERIVMATL
- Kemppi, Jari, FM, erikoistutkija, ILMAVE
- Soininen, Olli, YLIL, Järjestelmäpäällikkö, JOJÄ-OS/MERIVE.

Asiantuntijoiden haastatteluihin muodostettiin teemat tutkimuskysymysten mukaisesti. Käytettyinä teemoina olivat merivalvonnan toteutusperiaatteet ja tietotarpeet, SAR-satelliitit merivoimien tutkimustoiminnassa sekä SAR-satelliittiaineistojen saatavuus ja käytettävyyys valvonnassa.

2. MERIVALVONTA JA MERITILANNEKUVAN MUODOSTAMINEN

2.1. Merivalvonnan perusteet

Merivalvonta on osa valtakunnan aluevalvontaa, jota puolustusvoimissa johtaa Pääesikunta. Pääesikunta sopii Rajavartiolaitoksen esikunnan kanssa merivartiostojen ja vartiolentolaivueen osallistumisesta merivalvontaan. Merivoimien komentaja johtaa merivalvontaa puolustusvoimissa. Muut aluevalvontaviranomaiset osallistuvat merivalvontaan omilla toimialoillaan.³³

³³ Kenttäohjesääntö, yleinen osa (2007), s. 65–66.

Normaalioloissa merivalvonta on valtakunnan aluemerellä, merirajalla ja aluevesirajalla sekä niiden läheisyydessä toteutettavaa meriliikenteen ja muun toiminnan valvontaa. Merivalvonnan tavoitteena on alueellisen koskemattomuuden loukkausten ennaltaehkäiseminen ja paljastaminen sekä alueellisen koskemattomuuden turvaaminen. Alueellisen koskemattomuuden valvonta (AKV) ja turvaaminen (AKT) edellyttävät merialueilla olevien kohteiden tunnistamista ja seuraamista eli meritilannekuvan luomista. Tunnistettu meritilannekuva luo edellytykset alueellisen koskemattomuuden loukkausten ja muiden aluevalvontaan liittyvien rikkomusten ehkäisemiselle ja tarvittaessa alueellisen koskemattomuuden turvaamiseen liittyvien torjuntatoimenpiteiden käynnistämiseksi sekä meripelastustoiminnan käynnistämiseksi.³⁴ Merivalvonnan yhtenä tavoitteena on myös tuottaa tietoa lähialueella tapahtuvasta sotilaallisesta toiminnasta³⁵.

2.2. Meritilannekuvan muodostamisen perusteet

Meritilannekuvan muodostaminen on yksi aluevalvontalakiin perustuvan merivalvonnan tehtävistä. Meritilannekuvan koostamisesta valtakunnalliseksi meritilannekuvaksi ja sen välittämisestä Puolustusvoimien tilannekeskukseen vastaa Merivoimien Esikunnan tilannekeskus. Alueellisella tasolla meritilannekuvan ylläpitämisestä vastaavat Saaristomeren ja Suomenlahden meripuolustusalueiden tilannekeskukset³⁶ sekä Ahvenanmaan maakunnan ja Pohjanlahden osalta Länsi-Suomen merivartiosto³⁷. Vuoden 2012 alussa järjestely tulee muuttumaan. Tällöin Merivoimien esikuntaan perustettava operaatiokeskus ohjeistaa ja johtaa suoraan merivalvontakeskuksia ja meripuolustusalueiden alaiset tilannekeskukset poistuvat tai niiden rooli muuttuu.³⁸

Paikallisella tasolla meripuolustusalueiden alaiset merivalvontakeskukset sekä merivartiostojen johtokeskukset muodostavat alueeltaan yksityiskohtaisen meritilannekuvan sekä kohottavat tarvittaessa merivalvonnan valmiutta ja tehoa. Paikallisella tasolla merivalvontakeskukset ja merivartiostojen johtokeskukset täydentävät toistensa meritilannekuvaa. Muodostetun tunnistetun meritilannekuvan välittämisestä meripuolustusalueiden tilannekeskuksille, merivartiostoilta ja muille viranomaisille vastaavat merivalvontakeskukset.³⁹

³⁴ Kenttäohjesääntö, yleinen osa (2007), s. 66 ja Merivalvontaohje (2002), s 9–10.

³⁵ Kenttäohjesääntö, yleinen osa (2007), s. 66.

³⁶ Merivalvontaohje (2002), s 12–13.

³⁷ Rajavartiolaitos,

<http://www.intermin.fi/rv1/bulletin.nsf/PFBD/34773956E169D7A9C2256E27002CA6E5?opendocument>, 8.11.2010.

³⁸ Aho, Timo, Yliluutnantti, SLMEPA, Merivalvonnan toteutusperiaatteet ja tietotarpeet, haastattelu 11.3.2011, materiaali kirjoittajalla.

³⁹ Merivalvontaohje (2002), s 12–13.

Merivalvonnan rungon muodostaa rannikolle ryhmitetty kiinteä valvontaverkko, jota täydennetään liikkuvalla valvonnalla. Kiinteä valvontaverkko muodostuu eri valvontaviranomaisten tutkajärjestelmistä, tähystysasemista, vedenalaisen valvonnan sensoreista ja muista teknisistä valvontajärjestelmistä⁴⁰, kuten esimerkiksi elektro-optisesta merivalvontamonisensorista (MMS)⁴¹. Liikkuvan valvonnan rungon muodostavat Puolustusvoimien ja Rajavartiolaitoksen alukset ja ilma-alukset sekä muiden valvontaviranomaisten alukset⁴².

Kiinteää valvontaverkkoa käyttävät merivalvonta-asemat tai merivalvontakeskukset kaukokäytettyjen valvontajärjestelmien osalta. Valvonta-asemilla henkilöstö tekee havaintoja valvontajärjestelmällä ja seuraa havaittujen alusten liikkeitä sekä pyrkii tunnistamaan havaitut alukset ja selvittämään niiden toiminnan valtakunnan aluevesillä ja niiden läheisyydessä. Merivalvonnasta saatuja valvontatietoja muokkaamalla ja analysoimalla muodostetaan meritilannekuva, jota ylläpidetään ja jaetaan Mevat-järjestelmässä (Merivalvonnan Automaattinen Tietojärjestelmä).⁴³

2.3. Yhteiskäyttöiset valvontajärjestelmät

Merivalvonnan ja meritilannekuvan rungon muodostavat Merivoimien ja Merivartiostojen ylläpitämät kiinteät sensorit, sekä niitä täydentävä liikkuva valvonta. Tämän lisäksi merivalvontaan osallistuu aluevalvontalain mukaisesti muita viranomaisia. Näitä METO (merelliset toimijat) -osapuolia ovat Merivoimat, Rajavartiolaitos, Liikenneviraston väylävirastovirasto. METO -osapuolten yhteisien tietojärjestelmien ja valvontatietoja avulla täydennetään meritilannekuvaa. Muiden merellisten toimijoiden yhteiskäyttöisiä järjestelmiä ovat:

- Alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä (AIS)
- Suomenlahden alusliikenteen pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä (GOFREP)
- Vessel traffic Service-palvelu (VTS)
- Satamaliikenteen tietojärjestelmä (PortNet).⁴⁴

AIS-järjestelmä (Automatic Identification System) on kansainvälisen merenkulkujärjestön IMO:n (International Maritime Organization) mukainen ilmoittautumisjärjestelmä. Järjestelmä on pakollinen kaikissa aluksissa, joiden bruttovetoisuus on yli 300 sekä matkustajalaivois-

⁴⁰ Kenttäohjesääntö, yleinen osa (2007), s 66.

⁴¹ Merivalvontaopas (2005), s 14.

⁴² Sama, s 9 ja Aho.

⁴³ Merivalvontaohje (2002), s 30, 33.

⁴⁴ Jaakkola, Jarmo (toim.): *Suomen meriliikenteen järjestelyt normaali- ja poikkeusoloissa, ”Päämääränä turvattu meriyhteydet”*, Taktiikan laitos 2005, Julkaisusarja 4, työpäporeita, TLL IV Viranomaiskäyttö, s 43.

sa. AIS-järjestelmässä on navigointilaitteisiin integroitu VHF-lähetinvastaanotin, joka lähettää automaattisesti ja jatkuvasti alukseen ja sen liiketilaan liittyviä tietoja sekä vastaanottaa muiden alusten vastaavia tietoja.⁴⁵ AIS-järjestelmän tiedot liitetään suoraan Merivoimien Mevat-järjestelmään AIS-tukiasemilta⁴⁶. AIS-tiedot kattavat kaupalliset alukset, mutta eivät ole pakollisia huvialuksille tai valtionaluksille⁴⁷. Kansainvälisten sopimusten perusteella kaikki Itämeren valtiot voivat käyttää tunnistusjärjestelmän tietoja.⁴⁸

GOFREP-järjestelmä on Suomen, Viron ja Venäjän välinen alusliikenteen valvontajärjestelmä, joka kattaa Suomenlahden kansainväliset vedet sen läntisen ilmoittautumislinjan itäpuolelta. Pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä kattaa AIS-järjestelmän mukaisesti kaikki yli 300 bruttovetoiset alukset. Järjestelmän mukaisesti alusten tulee ilmoittautua tullessaan GOFREP-alueelle tai ylittäessään ilmoittautumislinjan sekä aina liiketekijöiden muuttuessa valvonta-alueella.⁴⁹

VTs-palvelua eli alusliikenteen ohjaus- ja tukipalvelua toteutetaan tällä hetkellä Suomessa viidestä VTs-keskuksesta: Helsingin, Nauvon, Porin, Vaasan ja Lappeenrannan keskuksista. VTs-keskuksissa seurataan vastuualueiden liikennettä tutka- ja AIS-ilmoitusten, kameroiden sekä VHF-radioilla annettujen ilmoitusten perusteella. VTs-keskuksista Helsingin keskus johtaa koko Suomenlahden tukipalveluita ja Nauvon keskus Saaristomeren alueen palveluita⁵⁰. VTs-keskukset kykenevät valvomaan omilla järjestelmillään kaikki rannikon kauppamerenkulun väylät.⁵¹

PortNet on Liikenneviraston ylläpitämä satamaliikenteen tietojärjestelmä, jossa seurataan kaikkea Suomen satamiin kohdistuvaa alusliikennettä. PortNet-järjestelmässä annetaan alus-

⁴⁵ AIS-alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä. Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/ais, 28.12.2010.

⁴⁶ Soininen.

⁴⁷ Aluevalvontalain mukaisesti valtionaluksia ovat sota-, rajavartiolaitos-, poliisi-, tullialukset sekä alukset, jota muussa tarkoituksessa kuin kauppamerenkulussa käytetään pääasiassa valtion tarkoitukseen. *Aluevalvontalaki* 18.8.2000/755, <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755>, 1.1.2011.

⁴⁸ AIS-alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä, Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/ais, 28.12.2010.

⁴⁹ Suomenlahden alusliikenteen pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä (GOFREP), Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/gofrep, 28.12.2010.

⁵⁰ Aho.

⁵¹ VTs – Vessel Traffic Service, Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/vts, 28.12.2010.

tiedot 24 tuntia ennen aluksen saapumista suomalaiseen satamaan. Järjestelmään tallennetaan kaikki Suomen kohdistuneet ulkomaiset aluskäynnit.⁵²

2.4. Merivalvonta ja kansainvälinen yhteistyö

Merivalvonnan kiinteällä ja liikkuvalla valvontajärjestelmällä sekä METO-yhteistoiminnalla kyetään luomaan tunnistettu meritilannekuva valtakunnan aluevesillä ja niiden läheisyydessä. Merivalvonnan tavoitteena kuitenkin on ulottaa kansallinen merivalvonta niin etäälle omilta aluevesiltä, että mahdolliset ongelma- ja riskitilanteet kyetään tunnistamaan kauan ennen niiden konkretisoitumista omien aluevesien lähellä ja antamaan näin reagointiaikaa omalle päätöksenteolle ja toiminnan valmistelulle. Tämän takia Suomi on aktiivisesti pyrkinyt luomaan kansainvälisiä rakenteita Itämeren alueen meritilannekuvan parantamiseksi.⁵³

Ensimmäinen vaihe kansainvälisessä meritilannekuvan vaihdossa oli Suomen ja Ruotsin välinen SeaSurveillance Co-operation Finland Sweden (SUCFIS)-hanke. SUCFIS-yhteistoiminnan mukaisesti on tapahtunut Suomen ja Ruotsin välillä elektronista tilannekuvanvaihtoa vuodesta 2006 alkaen.⁵⁴ Hankkeen perusteella Suomi saa Ruotsista meritilannekuvaa Malmön ja Tukholman väliseltä alueelta⁵⁵.

SUCFIS-hankkeen pohjalta käynnistyi myös koko Itämeren aluetta koskeva merivalvontatietojen vaihtamiseen tähtäävä hanke Sea Surveillance Co-operation Baltic Sea (SUCBAS). SUCBAS-yhteistyön tavoitteena on monenkeskinen yhteistoiminta, jolla pyritään luomaan ja jakamaan koko Itämeren kattava meritilannekuva. Yhteistoimintasopimuksen lähtökohtana on, että merivalvontatietoja luovutetaan sopimusosapuolten käyttöön kunkin valtion omalta alueelta ja kansainväliseltä merialueelta.⁵⁶ Hankkeessa vaihdettavat valvontatiedot ovat tällä hetkellä vuorokauden vanhoja tilannekoonnoksia, eivät lähes reaaliaikaista valvontatietojen vaihtamista⁵⁷. Sopimusosapuolina ovat kaikki muut Itämeren valtiot, paitsi Venäjä, ja osapuolten välinen tiedonvaihto on alkanut 2.4.2009⁵⁸. Sopimuksen mukaan jokaisen maan tuottama meritilannekuva on maan kansallista omaisuutta ja näin jokainen osallistujamaa voi itse päättää, miltä osin omaa meritilannekuvaa jaetaan toisen maan toimijoiden käyttöön. Tämän

⁵² PortNet, Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/portnet, 28.12.2010.

⁵³ Ravanti, Juha: Merivalvonta ja METO-yhteistyö – kansallinen työ ja kansainvälinen ulottuvuus, *Rannikon Puolustaja* nro 2/2010, s. 14.

⁵⁴ Sama, s. 16.

⁵⁵ Soininen. Tietojen vaihto tapahtuu Korppoon MEVAKEn ja Ruotsin välillä.

⁵⁶ Ravanti (2010), s. 16.

⁵⁷ Aho. Upinniemen MEVAKEn aloittamassa puhelimitse tapahtuvat valvontatietojen vaihtamisen Viron valvontaviranomaisten kanssa, jolloin valvontatiedon viiveet pienenevät.

⁵⁸ Pyysalo, Raimo: Merivoimat merellisenä viranomaisena, *Rannikon Puolustaja* nro 4/2010, s. 13.

perusteella esimerkiksi elektronisen tiedustelun keinoin havaitut maalit eivät ole mukana vaihdettavassa meritilannekuvassa.⁵⁹

Euroopan unionin tasolla Suomi on mukana MARSUR-hankkeessa, jota johtaa Euroopan puolustusvirasto. Merivoimat johtaa hankkeessa työryhmää, jonka tavoitteena on kehittää menetelmä meritilannekuvan vaihtamiseen 15 EU:n jäsenmaan sekä Euroopassa toimivien virastojen ja tahojen välillä. Hankkeen tavoitteena on myös luoda EU:n operaatioita tukeva ratkaisu meritilannekuvan ylläpitämiseksi. MARSUR-hanke on tällä hetkellä kokeiluvaiheessa, jossa kokeillaan tietoteknistä sovellusta tietojen vaihtamiselle Suomen, Ranskan, Italian, Espanjan, Ruotsin ja Iso-Britannian välillä.⁶⁰

METO-yhteistoimintana luodun kansallisen meritilannekuvan ja kansainvälisen yhteistoiminnan, SUCFIS- ja SUCBAS-sopimusten avulla on kyetty luomaan tilanne, jossa Suomi saa normaalioloissa kattavan meritilannekuvan koko Itämeren alueelta⁶¹. Sopimukset eivät kuitenkaan velvoita ilmoittamaan kaikkia kansallisessa meritilannekuvassa olevia maaleja. Tämän perusteella esimerkiksi valtion aluksien sijaintia ja toimintaa ei tarvitse ilmoittaa muille sopimusosapuolille. Meritilannekuva perustuu valvontasensoreiden kantaman ulkopuolelta kansainväliseen AIS-tietoon. Kauppa-alusten AIS-tiedot voivat olla vääriä viallisista laitteista tai asetuksista johtuen⁶². AIS-ilmoituksia voidaan käyttää myös tarkoituksellisesti väärin esimerkiksi ilmoittamalla alukselle virheelliset navigointitiedot tai käyttämällä väärän aluksen tunnistetietoja.⁶³

2.5. Merivalvonta häiriö- ja poikkeustilanteissa

Häiriö- ja poikkeusolojen aikana lähtökohtana on, että Merivoimat muodostaa kansallisen meritilannekuvan omilla ja yhteiskäyttöisillä valvontajärjestelmillä. Kansainväliset yhteistoimintasopimukset, SUCBAS- ja SUCFIS-sopimukset, eivät velvoita sopimusmaita luovuttamaan valvontatietojaan toisille sopimusosapuolille häiriö- ja poikkeusolojen aikana. Osallistujamaat voivat myös lopettaa valvontatietojen luovuttamisen niin halutessaan jo normaaliolojen aikana.⁶⁴ Tällöin omien valvontasensoreiden valvontakyvyn ulkopuolelta tuotettava meritilanne-

⁵⁹ Ravanti (2010), s. 15–16.

⁶⁰ Sama, s. 17.

⁶¹ Kaskeala (2009), s. 13.

⁶² Vachon, Paris W.: *Ship Detection in Synthetic Aperature Radar Imagery*, Proceedings OceanSAR 2006 – Third Workshop on Coastal and Marine Applications of SAR, Canada 2006, s. 4, http://www.oceansar2006.com/papers/82_Vachon_Oceansar2006.pdf, 20.2.2011.

⁶³ Aho ja Soininen.

⁶⁴ Aho ja Soininen.

kuva ja saatava tilannetietoisuus rajautuvat tiedustelun avulla tuotettuun tietoon ja arvioihin tilanteen kehittymisestä.

Häiriötilanteissa merivalvontaa toteutetaan aluevalvontalainsäädännön mukaisin toimivaltuuksin. Vastaavasti sotilaallisten voimavarojen käyttöön varaudutaan normaaliolojen lainsäädännön mukaisesti.⁶⁵ Mikäli tilanne valtakunnan merialueella tai sen läheisyydessä vaatii jatkuvaa merivalvontakykyä, voidaan jo normaalioloissa tehostaa merivalvonnan toteuttamista⁶⁶. Tehostetussa valmiudessa suunnataan merivalvonnan painopistettä ja resursseja uhanalaisimmille alueille. Painopiste voidaan luoda käyttämällä merivalvonnan kiinteitä järjestelmiä tehostamalla esimerkiksi kaukokäyttöisten rannikkotutka-asemien valvontaa katveiden pienentämiseksi tai suuntaamalla alueelle liikkuvaa valvontaa, kuten merivoimien ja rajavartiolaitoksen aluskalustoa tai rajavartiolaitoksen ja ilmavoimien ilma-aluksia. Merivalvontakykyä voidaan myös tehostaa käskemällä tarvittavia merivalvontakykyisiä joukkoja kertausharjoituksiin. Häiriötilanteiden aikana korostuu METO-yhteistoiminta merivalvonnan toteuttamiseksi.⁶⁷

Siirryttäessä häiriötilanteista poikkeustilanteisiin voi puolustusvoimien suorituskykyjen joustava käyttäminen edellyttää poliittisten, taloudellisten ja sotilaallisten painostusten hallitsemiseksi puolustusvoimien valmiuden merkittävää kohottamista. Puolustusvoimien laajamittaista sodan ajan joukkojen perustamista ei voida toteuttaa ennen valmiuslain toimivaltuuksia. Lisäksi puolustustilalain valtuuksien on oltava voimassa riittävien puolustusvalmistelujen turvaamiseksi.⁶⁸ Vasta puolustustilalain ollessa voimassa voidaan Merivoimien merivalvontaan kykenevien perustettavien joukkojen käyttöön ottaa tarvittavia alueita saaristosta ja varustaa joukot ottoaluskalustolla⁶⁹.

Valmiuden kohottamisen jälkeen merivoimissa merivalvontaa toteutetaan operatiivisten ohjeiden mukaisilla johtosuhteilla ja tehtävillä, joita tarkistetaan vastaamaan uhka-arviota. Merivalvonnan johto-organisaatio pysyy samana: meripuolustusalueiden tilannekeskukset jatkavat alueellisina ja merivalvontakeskukset paikallisina johtoportaina.⁷⁰ Järjestely mahdollistaa me-

⁶⁵ Kenttäohjesääntö, yleinen osa (2007), s. 74.

⁶⁶ Jaakkola (2005), s. 44.

⁶⁷ Merivalvontaopas (2005), s. 12 ja Aho. Häiriötilanteissa METO-toiminnassa korostuu erityisesti Merivoimien ja Rajavartiolaitoksen rooli, koska Liikennevirasto (1.1.2010 alkaen, entinen Väylävirasto) ei ole mukana operatiivisessa suunnittelussa.

⁶⁸ Kenttäohjesääntö, yleinen osa (2007), s. 43, 74.

⁶⁹ Puolustustilalaki 22.7.1991/1083, <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911083>.

⁷⁰ Österlund, Bo: Mihin tarvitsemme merivoimiamme, *Sotilasaikakauslehti, Helmikuu 2/2011*, s. 15.

rivalvonnan joustavan siirtymisen sodan ajan rakenteiden ja johtosuhteiden mukaiseen toimintaan.⁷¹

Poikkeusoloissa merivalvonnan tehtävistä korostuvat meriliikenteen ja sotilaallisten merikuljetusten suojaaminen, alueloukkausten ja -rikkomusten ehkäiseminen sekä edellytysten luominen alueellisen koskemattomuuden turvaamiseksi ja sotilaallisen uhkan torjumiseksi⁷². Meriliikenteen suojaaminen edellyttää merikuljetusten suuntaamista valvottujen alueiden ja reittien kautta suojattuihin satamiin⁷³. Tämä edellyttää puolestaan kykyä luoda jatkuva tai vähintään ajallinen valvontakyky kaikille merikuljetuksien reiteille ja niiden lähialueille, joista kyetään vaikuttamaan merikuljetuksiin. Sotilaallisen uhkan torjuminen edellyttää merivalvonnalta kykyä luoda tunnistettu meritilannekuva vähintäänkin meritorjuntaohjusten äärikantaman tasalle. Tämä tiedustelun-, valvonnan- ja maalinosoituksen suorituskyvyn puute nousi yhdeksi Merivoimien suurimmista suorituskypuutteista kapteeniluutnantti Liimataisen esiupseerikurssin tutkimuksessa⁷⁴.

Joukkojen perustaminen ja ryhmittäminen operatiivisille tehtäväalueille ei merkittävästi paranna merivalvontakyvyn ulottuvuutta kiintomerkkialueen ulkopuolelle. Perustettavat joukot kuitenkin parantavat alueellista merivalvonnan kattavuutta ja mahdollistavat aisti- ja tutkavalvontaan perustuvan merivalvonnan tehostamisen ja meritilannekuvan muodostamisen sisäaeristosta kiintomerkkialueen ulkopuolelle tähytysteisyyksien ja tutkahorisonttien mukaisesti. Käytännössä Suomenlahden alue kyetään valvomaan omalla kiinteällä valvonnalla, mikäli kaikki valvontasensorit ovat käytettävissä. Mahdollisien katvealueiden valvontaa kyetään täydentämään liikkuvalla valvonnalla.⁷⁵ Varsinaista merivalvonnan ulottuvuutta voidaan parantaa ryhmittämällä elektroniseen tiedusteluun kykenevää aluskalustoa tai järjestelmiä optimaalisisille mittausalueille.

Häiriö- ja poikkeusoloissa valvottavina alueina omien aluevesien lisäksi korostuvat Suomenlahden suun ja pohjukan alueet sekä Pohjois- ja Etelä-Itämeri, jonne suuntautuu pääosa Suomen kauppamerenkulusta. Valvontakyvyn ulottaminen aina Etelä-Itämerelle asti mahdollistaa myös riittävän ennakkovaroituksen saamisen ja edelleen valvontakyvyn kohdentamisen arvi-

⁷¹ Merivoimien suorituskypuuden jatkuvan johtamisen ja merivalvonnan kehittäminen 2010–2012, s. 2.

⁷² Jaakkola (2005), s. 45.

⁷³ Sama, s. 45.

⁷⁴ Liimatainen, Ossi: ”Ilmasta suorituskypuutta” UAV-järjestelmä Merivoimien taisteluosaston suorituskypuuden kehittäjänä, MPKK, EUK62 tutkielma 2010, TLL IV Viranomaiskäyttö, s. 60.

⁷⁵ Aho.

oiduille uhanalaisimmille alueille.⁷⁶ Omaamalla valvontakykyä Etelä-Itämerelle voidaan taata riittävän meritilannekuvan saaminen Itämeren alueelta, koska esimerkiksi Suomi ja Suomen valvontaintressit eivät välttämättä ole EU:n tasolla painopistealueina⁷⁷.

2.6. Merivalvontasensorilta vaadittava suorituskyky

Merivalvonnan tavoitteen on havaita ja tunnistaa alukset mahdollisimman etäältä. Suomen alueelle saapuvat alukset on tunnistettava viimeistään niiden ylittäessä sisäisten aluevesien ulkorajan. Tunnistamisessa on huomioitava, että jokaista Suomeen tulevaa alusta pidetään kauppa-aluksena, kunnes se voidaan tunnistaa joksikin muuksi. Merivalvonta ja reaaliaikainen tunnistettu meritilannekuva edellyttävät, että alusten liikkeitä kyetään havaitsemisen jälkeen seuraamaan valtakunnan aluevesillä ja niiden läheisyydessä.⁷⁸

Euroopan satelliittikeskus on koonnut vaatimuksia ja avaintekijöitä merivalvontaan käytettävälle satelliiteille eri tutkimushankkeisiin perustuen. Tärkeimpinä vaatimuksina valvontasatelliiteille voidaan pitää ympärivuorokautista ja jatkuvaa toimintakykyä sekä suurta alueellista kattavuutta ja lähes reaaliaikaista kykyä tuottaa tietoa tilannekuvan muodostamiseksi. Lisäksi satelliittien käytön tulee pienentää valvontajärjestelmässä aiheutuvia vääriä hälytyksiä ja olla joustavaa, mikä tarkoittaa nopeata tehtäväksytystä ja päivittämismahdollisuutta. Asetettujen vaatimusten lisäksi avaintekijöinä satelliittien osalta on kyky havaita, luokitella, tunnistaa ja seurata kohteita. Muita avaintekijöitä satelliittiaineiston hyödyntämiseen liittyen ovat kyky tarkemmin analysoida aineistoa sekä verrata aineistoa muiden sensoreiden tuottamaan valvontatietoon.⁷⁹

Satelliiteille asetettujen vaatimusten osalta Itämeren alueella korostuvat alueellinen kattavuus ja ajallinen erotuskyky⁸⁰. Meritilannekuvan luotettavuuden kannalta satelliiteilla valvottavat alueet tulisi kyetä kuvaamaan normaaliolosuhteissa noin neljän tunnin välein. Tilannekuvan analysoinnin perusteella tai havaittaessa uhkaava tai kiinnostava aluskohde tulisi satelliiteilla toteutettava valvonta kyetä suorittamaan noin tunnin välein tapahtuvina kuvauksina. Tunnin

⁷⁶ Aho ja Soininen.

⁷⁷ Soininen.

⁷⁸ Merivalvontaopas (2005), s. 7, 18–19.

⁷⁹ *Satellite requirements vs. capabilities*, Draft v.1, European Satellite Center 2008, s. 3–4.

⁸⁰ Tolvanen, Pasi: *SAR-satelliitin sotilaalliset käyttömahdollisuudet Suomessa*, MPKK, EUK60 tutkielma, 2008, TLL IV Viranomaiskäyttö, s. 26.

välein toteutettavia kuvauksia tulisi kyetä jatkamaan kunnes kohteen seuranta voidaan jatkaa muilla valvontasensoreilla.⁸¹

Avaintekijöiden osalta havaitseminen ja luokittelu ovat oleellisia. Jo ensimmäisen havainnon perusteella tulisi kyetä erottamaan taistelualukset kauppa-aluksista sekä kyetä luokittelemaan taistelualukset eri alusluokkiin. Luokittelun perusteella kyetään vallitsevasta tilanteesta muodostamaan arvio, joka puolestaan vaikuttaa satelliiteilta vaadittavaan seuraavien kuvausten ajalliseen erotuskykyyn eli kuvausten toistettavuuteen ja alueelliseen kattavuuteen.⁸²

3. SAR-SATELLIITTIJÄRJESTELMÄT

Kaukokartoitukseen käytettäviä satelliittijärjestelmiä tarkasteltaessa keskitytään usein vain tarkastelemaan itse kuvaussensoria. Kuvaussensorin suorituskyky on oleellinen osa lopputuotteen käytettävyyttä, mutta vähintään yhtä tärkeässä roolissa ovat tiedonsiirtoon käytettävät linkkijärjestelmät ja maajärjestelmien toteutus⁸³. SAR-satelliittien kuva-aineistot ovat suuria ja niiden siirtäminen satelliitista maa-asemille vaatii tehokasta tiedonsiirtokapasiteettia. Koska satelliittien ja maa-asemien välinen linkkiaika on lyhyt, joudutaan reaaliaikaisen tai lähes reaaliaikaisen tiedonsiirron mahdollistamiseksi käyttämään releointisatelliitteja tai rakentamaan useampia maa-asemia eri leveyspiireille tiedonsiirron mahdollistamiseksi⁸⁴.

Operatiivisen käytettävyyden kannalta aika kuvaustehtävän käskyttämisestä kuvauksen toteuttamiseen ja analysoidun tiedon saamiseen on merkittävä. Kuva-aineistojen analysoinnin helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi on käytössä useita automaattisia tai puoliautomaattisia sovelluksia, kuten erilaisia hahmontunnistus- ja luokittelualgoritmeja sekä liikkuvan kohteen ilmaisijoita (Motion Target Indicator, MTI)⁸⁵. Satelliitissa esikäsitelty kuva-aineisto voidaan myös välittää suoraan käyttäjille operaatioalueelle, joka pienentää edelleen valvontatiedon saamisen

⁸¹ Aho. Alueelliseen ja ajalliseen vaatimukseen vaikuttaa seurattavien maalien liikehtimiskyky. Esimerkiksi 30 solmun nopeudella liikkuva alus siirtyy neljän tunnin aikana noin 222 kilometriä. Tämä puolestaan asettaa vaatimukset alueelliselle valvontakyvyille, jotta seurattavat alukset pysyvät kuvausalueella.

⁸² Aho.

⁸³ Taverna, Michael, A., Nativi, Andy: *Musis Takes Shape*, Aviation Week & Space Technology, 2/23/2009 Vol. 170 Issue 8, s. 37.

⁸⁴ Friedman, Norman: *Seapower And Space*, Chatham Publishing, London, UK 2000, s. 308 ja Bauna, Tony: *An operational satellite based multi user service for oil slick and pollution source detection*, Kongsberg Satellite Services, Tromsø, Norway 2009, s. 11, http://www.dsr.inpe.br/Brazil_Norway_Workshop/TONY%20BAUNA_An%20operational%20satellite...EO-based%20services%20for%20maritime....pdf, 16.11.2010..

⁸⁵ DiPietro, R., C., Perry, R., P., Fante, R., L., Teng, C.: *SAR Imaging and Detection of Moving Targets*, Mitre Publications 2009, http://www.mitre.org/news/the_edge/september_99/dipietro.html, 16.11.2010.

viivettä⁸⁶. Satelliittijärjestelmien osalta voidaan puhua lähes reaaliaikaisesta tiedon tuottamisesta kuvaushetkestä esianalysoidun tiedon luovuttamiseen. Puhtaasti sotilaallisissa järjestelmissä päästään tällä hetkellä noin 10 minuutin viiveisiin⁸⁷. Kaupallisia satelliittijärjestelmiä käytettäessä viiveet ovat parhaimmillaan noin 10–30 minuutin luokkaa⁸⁸.

Satelliittijärjestelmien toteutuksessa joudutaan tekemään kompromisseja eri suorituskykyvaatimusten välillä. Satelliitin suorituskykyyn oleellisesti vaikuttavana tekijänä on kiertorata. Kaukokartoitus- ja valvontasensorina käytettävät SAR-satelliitit laukaistaan yleensä 500 – 700 kilometrin korkeudelle LEO (Low-Earth Orbit) -radalle⁸⁹. Valituilla rataparametreilla pyritään saavuttamaan paras mahdollinen kompromissi sensorin suorituskyvyn, kuvausgeometrian, satelliitin eliniän, lentorataolosuhteiden ja kustannusten välillä⁹⁰. Käytettäessä rajoitettua määrää maa-asemia ja yksittäistä satelliittia on ratakorkeudella suuri vaikutus satelliitin näkyvissäoloaikaan, eli aikaan jolloin tiedonsiirto satelliitin ja maa-aseman välillä on mahdollista. SAR-satelliittien ratakorkeuksilla satelliitin näkyvissäoloaika on muutamia minuutteja⁹¹. Satelliitin näkyvissäoloaika ja alueellista sekä ajallista kattavuutta voidaan parantaa pohjoisilla leveysasteilla käyttämällä polaarisia tai lähipolaarisia kiertoratoja, jolloin maa-asema ja kuvattavat alueet ovat satelliitin nähtävissä jokaisella ratakierröksellä⁹². Tulevaisuudessa on nähtävissä polaarisisilla tai lähipolaarisilla radoilla kiertävien satelliittien säilyminen pääsuuntauksena, mikä tarjoaa paranevaa valvontakykyä pohjoisille leveysasteille⁹³.

3.1. Synteettisen apertuurin tutka (SAR)

Synteettisen apertuurin tutkasatelliitti eli SAR-satelliitti (Synthetic Aperture Radar) on aktiivinen kuvauslaite, joka käyttää sähkömagneettisen säteilyn mikroaaltoaluetta kaksikulotteisen

⁸⁶ A Congressional Budget Office Study, *Alternatives for Military Space Radar*, The Congress of the United States, Washington DC 2007, s. 1, <http://www.cbo.gov/ftpdocs/76xx/doc7691/01-03-SpaceRadar.pdf>, 1.2.2011.

⁸⁷ Davis, Thomas, Straight, Stanley: *Development of the Tactical Satellite 3 for Responsive Space Missions*, AIAA – 4th Responsive Space Conference 2006, http://www.responsivespace.com/Papers/RS4%5CPresentations%5CRS4_4003C_Davis.pdf, 16.11.2010.

⁸⁸ Bauna (2009), s. 27.

⁸⁹ Tolvanen (2008), s. 15.

⁹⁰ Larson, Wiley J., Wertz, James R.: *Space Mission Analysis and Desing, Third Edition*, Microcosm Press, California 2005, s. 41, 159.

⁹¹ Larson, Wertz (2005), s. 628 ja Tolvanen (2008), s. 15. Tolvanen on tutkielmassaan laskenut LEO-radalla olevan satelliitin näkyvissäoloajaksi yli 5⁰ elevaatiokulmalla 9,21–11,60 minuuttia.

⁹² Larson, Wertz (2005), s. 628. Tolvanen (2008, s. 17.) on tutkielmassaan laskenut SAR-satelliitin alueellista kattavuutta Suomen leveyspiireillä (60⁰ – 70⁰ N). Laskun perusteella yli 85 asteen inkliinaatiokulman omaavalla satelliitilla saavutetaan yli 50 prosentin alueellinen kattavuus. Tulos tarkoittaa, että joka toisella kierroksella polaarisisella radalla oleva satelliitti kykenee kuvaamaan Suomea.

⁹³ Bauna (2009), s. 4.

kuvan muodostamiseen⁹⁴. Tutkasatelliitteja eli SAR-satelliitteja käytetään yhä enemmän perinteisiin optisiin tai elektro-optisiin kaukokartoitus- tai tiedustelusatelliitteihin verrattuna. Suurimpana syynä SAR-satelliittien käytön yleistymiselle on niiden käyttökelpoisuus kaikissa valaistusolosuhteissa ja lähes kaikissa sääolosuhteissa.⁹⁵

Yksinkertaistettuna SAR-satelliitti koostuu mikroaaltolähettimestä, vastaanottimesta, antennielementistä ja prosessorista. Yleensä samaa antennielementtiä käytetään sekä tutka-aallon lähettämiseen että vastaanottamiseen. Antenni lähettää lyhyen mikroaaltopulssin ja taltioi kohteesta takaisinheijastuneen säteilyn. Antennin muodostama kuva-ala on alue, jolta takaisinheijastunut säteily kyetään vastaanottamaan. Prosessorin tehtävänä on taltioida vastaanotettu signaali ja esittää se kuvana.⁹⁶ Näin muodostetun kuva-alan koko on muutamia kilometrejä (Spotlight-mode). Suurempien ja tarkempien SAR-kuvien muodostus perustuu keino-tekoisesti muodostetun antenniryhmän käyttöön. Keinotekoinen antenniryhmä muodostuu useasta signaalin lähetys- ja vastaanottopisteestä satelliitin liikkeessä radallaan.⁹⁷ Tästä käytetystä kuvanmuodostustekniikasta tulee sensorin nimi eli synteettisen apertuurin tutka.

Valvontasensorina käytettävältä SAR-satelliitilta edellytetään reaaliaikaista tai lähes reaaliaikaista ja laaja-alaista valvontakykyä, hyväksyttävää kohteiden havaitsemistodennäköisyyttä ja havaittujen kohteiden tunnistamiskykyä⁹⁸. Asetettujen vaatimusten täyttymiseksi ja kuvaussatelliittien todellisen suorituskyvyn arvioimiseksi on määriteltävä kuvausjärjestelmän alueellinen erotuskyky, ajallinen erotuskyky ja alueellinen kattavuus. Erotuskyky- ja kattavuustarkastelun lisäksi Merivalvonnassa alusten havaitsemiseen vaikuttaa sensorissa käytettävä polarisaatio⁹⁹.

3.2. Alueellinen erotuskyky

Alueellinen eli spatiaalinen erotuskyky on yksi tärkeimmistä kuvaussensoreiden ominaisuuksista. Alueellisella erotuskyvyllä tarkoitetaan yleisesti pienintä kohdetta, joka kuvasta voidaan

⁹⁴ Karjalainen, Mika: *Multidimensional SAR satellite Images – A Mapping Perspective*, Doctoral Dissertation 2010, Aalto University, School of Science and Technology, s. 5, <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789517112819>, 30.13.2010.

⁹⁵ Cracknell, Arthur, Hayes, Ladson: *Introduction To Remote Sensing, Second Edition*, CRC Press, Boca Raton 2007, s. 145.

⁹⁶ Sama, s. 205.

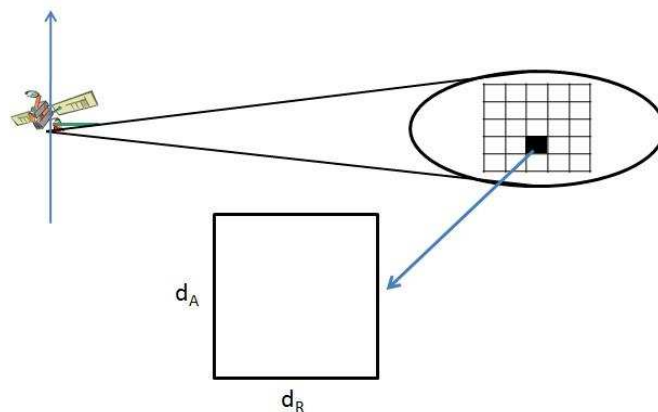
⁹⁷ Karjalainen (2010), s. 15.

⁹⁸ *Satellite requirements vs. capabilities*, s. 3–4.

⁹⁹ Bauna (2009), s. 21 ja Lorenzetti, Joao A., Paes, Rafael L. & Gherardi, Douglas M.: *A performance comparison of a CFAR ship detection algorithm using Envisat, Radarsat, Cosmo-Skymed and TerraSAR-X images*, SEASAR 2010, The 3rd International Workshop on Advances in SAR Oceanography from Envisat, ERS and ESA third party missions, s. 24, http://earth.eo.esa.int/workshops/seasar2010/participants/370/pres_370_Lorenzetti.pdf, 7.1.2011.

havaita. Määrittely sopii hyvin optisille sensoreille, mutta SAR-sensorit ovat aktiivisia tutkasensoreita, joiden kuvanmuodostus perustuu lähetetyn säteilyn takaisineijastumiseen kuvattavalta alueelta. SAR-satelliittien erotuskyvyn määrittelyssä on oleellisempaa määrittää pienin kahden kohteen välinen etäisyys, jolloin niistä takaisineijastuneet säteilypiikit ovat vielä erotettavissa toisistaan¹⁰⁰.

SAR-kuvat ovat kaksiulotteisia kuvia, jolloin alueellista erotuskykyä voidaan tarkastella kahdesta erillisestä suunnasta: kuvausetäisyyden ja satelliitin kulkusuunnan suhteen¹⁰¹. Kaksiulotteisen tarkastelun mukaisesti alueellisesta erotuskyvystä muodostuu resoluutiosolu, jonka muoto voi vaihdella maaston muotojen mukaan, mutta on ideaalitapauksissa suorakaide¹⁰². Resoluutiosolun muodostuminen on esitetty kuvassa 2, jossa etäisyysresoluutiota eli resoluutiota kuvaussuunnan suhteen kuvaa d_R ja satelliitin kulkusuunnan eli atsimuuttitasen resoluutiota kuvaa d_A .



Kuva 2. SAR-sensorin kuvausala, josta on erotettu suorakaiteen muotoinen resoluutiosolu.

Etäisyys suunnan resoluution riippuvuus säteilyn tulokulmasta aiheuttaa sen, että etäisyysresoluutio ei ole vakio koko kuvausalalla. Etäisyysresoluutio on parhaimmillaan pyyhkäisyalan ulkoreunalla pienentyen tulokulman kasvaessa kohti pyyhkäisyalan etureunaa. Ominaisuus on päinvastainen optisissa sensoreissa, joiden erotuskyky on parhaimmillaan kuvausalan etureunalla eli alueella, jossa etäisyys sensoriin on pienin. Etäisyysresoluution ominaisuudesta johtuen SAR-satelliiteissa käytetään yleensä yli 20° tulokulmia, suoraan satelliitin alapuolella resoluutio olisi nolla. Toinen tärkeä SAR-satelliittien ominaisuus on etäisyysresoluution riippumattomuus kuvauskorkeudesta.¹⁰³

¹⁰⁰ Richards, John A.: Remote Sensing with Imaging Radar, Springer-Verlag, Heidelberg 2009, s. 55.

¹⁰¹ Karjalainen (2010), s. 16.

¹⁰² Kosola, Jyri ja Solante, Tero: Digitaalinen taistelukenttä, toinen painos, Helsinki 2003, s. 244.

¹⁰³ Richards (2009), s. 57.

Alueellista erotuskykyä tarkastellaan tutkielmassa vain nimellisen erotuskyvyn mukaisesti. Yleensä SAR-satelliittien suorituskvyvyissä ilmoitetaan nimellisen erotuskyvyn arvo, joka on riittävä tarkasteltaessa SAR-satelliittien käyttömahdollisuuksia merivalvonnassa. Esimerkiksi TerraSAR-X -satelliitissa etäisyysresoluutio on parhaimmillaan Spotlight-moodissa jopa 0,74–1,77 metriä ja muissakin kuvausmoodeissa 1,70–3,49 metrin välillä. Samalla kuitenkin atsimuuttisuunnan resoluutio pienenee kuvausalan suurenessa noin metristä 18 metriin¹⁰⁴.

Alueellinen erotuskyky on käytössä olevissa SAR-satelliiteissa parhaimmillaan yhden metrin luokkaa, kuten esimerkiksi Cosmo-SkyMed - ja TerraSAR-X -satelliiteissa¹⁰⁵. Tulevaisuudessa SAR-satelliittien erotuskyvyt tulevat olemaan alle yhden metrin. Esimerkiksi vuonna 2014–2015 käyttöön tulevien toisen sukupolven Cosmo-SkyMed -satelliittien erotuskyvyn arvellaan olevan alle 0,8 metriä.¹⁰⁶ Joidenkin arvioiden mukaan SAR-satelliiteilla saavutetaan nykyisin noin 30 senttimetrin erottelutarkkuus¹⁰⁷. Tutkielman liitteessä 1 on luettelo SAR-satelliiteista ja niiden alueellisista erotuskyvyistä eri kuvausmoodeissa.

SAR-satelliittien ilmoitettujen alueellisten erotuskykyjen avulla voidaan arvioida yksittäisen sensorin eri kuvausmoodien käytettävyyttä valvontasensorina. Arviointi helpottamaan voidaan käyttää NIIRS (National Image Interpretability Rating Scales) -taulukkoa tai NATO:n Stanag 3769 asiakirjan määrittämiä erotuskykyvaatimuksia¹⁰⁸. NIIRS-taulukossa on kuvattu resoluutioluokitukset erityyppisten sensoreiden (näkyvän valon, infrapuna-, tutka- ja multi-spektraalisten sensorien) kuva-aineistojen tulkittavuudelle. Tutkielman liitteeseen 2 on koottu tutkasensorin ja vertailuksi näkyvän valon sensorin NIIRS-taulukko tasoilla 1–6. Ote Stanag 3769 mukaisista erotuskykyvaatimuksista merellisten kohteiden tulkintaan on koottu taulukoon 1.

Maalin tyyppi	Havainto	Luokittelu	Tunnistus	Tekninen analyysi
Pinta-alus	15 m	4,5 m	0,15 m	40 mm
Sukellusvene pintakulussa	7,5 m	4 m	0,15 m	25 mm
Satamarakenteet	30 m	6 m	1,5 m	0,4 m

¹⁰⁴ TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document, CAF – Cluster Applied Remote Sensing 2010, http://www.infoterra.de/asset/cmc/tx-gs-dd-3302_basic-product-specification-document_v1.7.pdf, 23.2.2011. Cosmo-SkyMed -, RADARSAT-2 - ja TerraSAR-X -satelliiteista oli saatavilla erotuskyky sekä etäisyyden, että kulkusuunnan suhteen. TerraSAR-X-satelliitilla paras erotuskyky saavutetaan etäisyysresoluution ominaisuuden mukaisesti kasvattavalla pyyhkäisyetäisyydellä samalla kaventamalla pyyhkäisyalaa.

¹⁰⁵ CSTARS: *Satellite Specifications*. <http://www.cstars.miami.edu>, 16.11.2010.

¹⁰⁶ Taverna, Nativi (2009), p. 36–37.

¹⁰⁷ Tolvanen (2008), s. 6.

¹⁰⁸ NIIRS-luokittelutaulukko, <http://www.fa.s.org/irp/imint/niirs.htm>, 20.1.2011 ja NATO STANAG No. 3769 (Second Edition), *Minimum Resolved Object Sizes and Scales for Imagery Interpretation*, 1998.

Taulukko 1. Stanag 3769 (edition 2) mukaiset erotuskykyvaatimukset merellisten kohteiden havaitsemiselle, luokittelulle, tunnistamiselle ja tekniselle analysoinnille¹⁰⁹.

Erotuskykyvaatimusten avulla voidaan arvioida SAR-satelliittien alueellisen erotuskyvyn riittävyyttä merivalvontaan liitteessä 1 esitetyillä SAR-satelliittien erotuskykyarvoilla. Arviointia varten on liitteeseen 3 koottu Itämeren alueella liikkuvia pintataistelualuksia. Tarkasteltaviksi aluskohteiksi voidaan ottaa liitteessä 3 olevia pienimpiä taistelualuksia, kuten Sonya-luokan raivaajia, Styrö-luokan rannikkoraivaajia tai pienimpiä korvetteja (Göteborg-, Tarantul- ja Hamina-luokka). SAR-satelliittien karkeana alusten havaintokyvyn rajana voidaan pitää aluksen kokoa, joka on puolet satelliitin alueellisesta erotuskyvystä. Tätä pienemmät alukset jäävät havaitsematta.¹¹⁰ Puhtaasti satelliittien erotuskykyjen perusteella kaikkien liitteessä 1 olevien SAR-satelliittien erotuskyky riittää pienimpienkin taistelualusten havaitsemiseen.

Mikäli tarkastelukriteerin käytetään Stanag 3769- tai NIIRS-tilukon mukaisia arvoja, pienee käytettävien satelliittien määrä. Taistelualusten havaitsemiseen vaadittava erotuskyky (Stanag 15 m, NIIRS2 4,5–9 m) on Cosmo-SkyMed-, Radarsat 1-, Radarsat 2- ja TerraSAR-X -satelliiteilla. Samalla kuitenkin estyy laajemman alueellisen kattavuuden mahdollistavien kuvausmoodien käyttö. Esimerkiksi Radarsat-2 satelliitilla olisi käytettävissä korkean erotuskyvyn kuvausmoodien lisäksi Extended ScanSAR -kuvausmoodi, jonka erotuskyky on 18 metriä ja pyyhkäisyala 75 kilometriä. Aluskohteiden luokitteluun vaadittava erotuskyky (Stanag 4,5 m, NIIRS3 2,5–4,5 m) on Cosmo-SkyMed-, Radarsat 2- ja TerraSAR-X -satelliiteilla. Luokitteluun vaadittavalla erotuskyvyllä saavutetaan parhaimmillaan noin 40 kilometrin pyyhkäisyala. Luokittelutaulukkojen perusteella yhdelläkään liitteessä 1 olevalla SAR-satelliitilla ei ole Stanag 3769 mukaista aluskohteen tunnistamiseen vaadittavaa 0,15 metrin erotuskykyä. NIIRS5 tason 0,75–1,2 metrin erotuskyky on Cosmo-SkyMed- ja TerraSAR-X -satelliiteilla.

3.3. Ajallinen erotuskyky

Ajallinen erotuskyky eli kuvaustaajuus on tärkeä ominaisuus erityisesti valvontasensoreille. Ajallisella erotuskyvyllä tarkoitetaan kuvauksen toistettavuutta eli aikaviivettä, jonka satelliitti tarvitsee voidakseen mitata samaa paikkaa uudelleen¹¹¹. Mitä pienempi aikaviive on, sitä parempi on ajallinen erotuskyky.

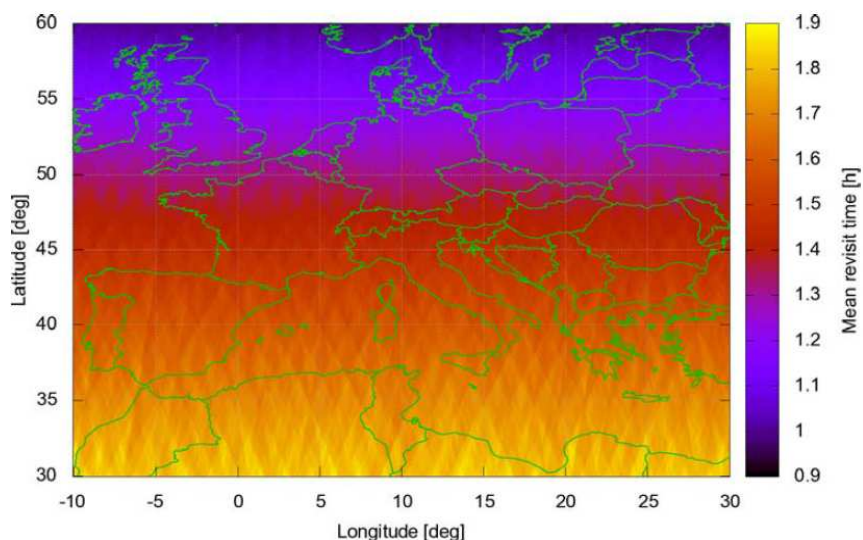
¹⁰⁹ NATO STANAG No. 3769 (Second Edition).

¹¹⁰ Greidanus, Harm, Kourti, Naouma: *Findings of the declims project - detection and classification of marine traffic from space*, 2006, http://earth.esa.int/seasar06/proceedings/papers/s5_12_gre.pdf, 24.1.2011

¹¹¹ Karjalainen (2010), s. 18.

Yksittäisen satelliitin tapauksessa kuvauksen toistettavuus riippuu satelliitin radasta ja valvottavan alueen leveyspiiristä. Kuvaussatelliitit laukaistaan yleensä polaarille tai lähipolaarisille kiertoradoille¹¹². Mitä pohjoisempaa alue on, sitä useammin alue on valvottavissa eli sitä parempi on ajallinen erotuskyky. Esimerkiksi napa-alueet ovat kuvattavissa satelliitin jokaisella kierroksella.¹¹³ Useampien satelliittien konstellatioissa, esimerkiksi Cosmo-SkyMed satelliittijärjestelmässä kuvauksen toistettavuus on muutamien tuntien luokkaa¹¹⁴.

Kuvassa 3 on esitetty TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed-konstellatiolla, Radarsat-2, ERS-2 ja Envisat satelliiteista koostuvalla konstellatiolla saavutettava ajallinen erotuskyky¹¹⁵. Kuvan perusteella Itämeren alueen leveyspiireiltä, esimerkiksi Saksan Rostockista ($53,55^{\circ}$ N) pohjoiseen, saavutetaan kahdeksan SAR-satelliitin käytöllä noin 1,2 tunnin ajallinen erotuskyky, jota voidaan pitää merivalvontaan vähintäänkin riittävänä.



Kuva 3. kahdeksan SAR-satelliitin konstellatiolla laskettu ajallinen erotuskyky eri leveyspiireillä¹¹⁶.

Ajalliseen erotuskykyyn vaikuttaa myös kuvaustehtävän käskyttämisestä ja kuvaussensorin ohjelmoinnista aiheutuvat viiveet. Viiveitä aiheuttaa 3. luvun alussa satelliittijärjestelmiä esiteltäessä mainitut viestiyhteysjärjestelyt ja maa-asemien maantieteellinen sijoittuminen. Liitteessä X on TerraSAR-X satelliittijärjestelmän maa-asemien sijoittuminen. Liitteessä olevasta kuvasta ilmenee maa-aseman maantieteellisen sijainnin vaikutus linkkiaikaan satelliittien käyttämiseksi ja kuvattun aineiston siirtämiseksi maa-asemille. Cosmo-SkyMed-konstellatiolle

¹¹² Sama, s. 18.

¹¹³ What are polar-orbiting satellites, http://www.eol.ucar.edu/cds/services/satellite/html/home_basic/polar-info.htm, 25.1.2011.

¹¹⁴ Karjalainen, s. 18.

¹¹⁵ Oswald Michael, Younis Marwan, Rodriguez-Cassola Marc: *Feasibility Study on Satellite-Unmanned Airborne Systems Cooperative Approaches for the Improvement of all-Weather Day and Night Operations, Executive summary*, EADS Astrium 2009, s. 4-17, <http://esamultimedia.esa.int/docs/gsp/completed/C22448ExS.Pdf>, 7.2.2011.

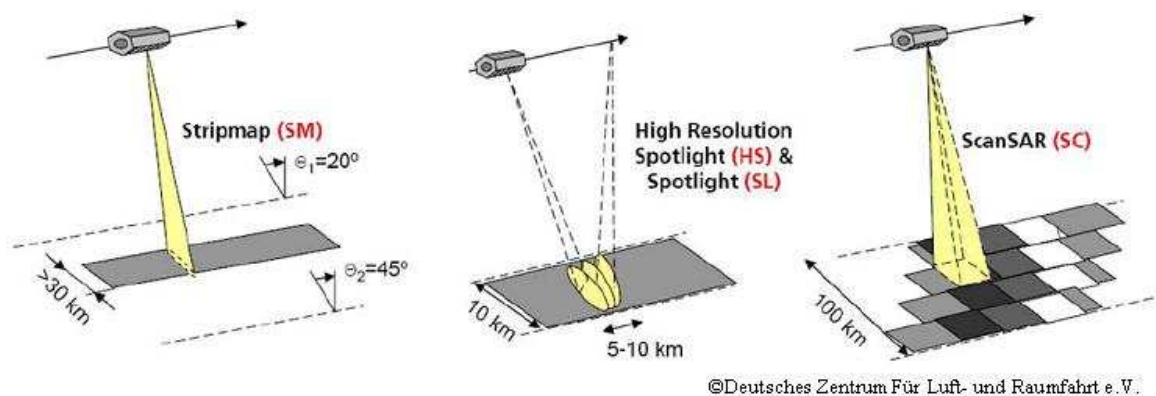
¹¹⁶ Sama, s. 4-17.

luvataan parhaimmillaan 18 tunnin vasteaika kiireellisissä tapauksissa. Normaali vasteaika konstellatiolle käskytyksestä kuvauksen toteuttamiseen on 72 tuntia.¹¹⁷ Toisaalta Compass-kokeilussa Radarsat-2 satelliittia kyettiin käskyttämään neljä tuntia ennen Adeninlahdella tapahtuvaa valvontatehtävää¹¹⁸.

3.4. Alueellinen kattavuus

Satelliitin alueellinen kattavuus on yleistettynä riippuvainen satelliitin kiertoradasta ja sensorin rakenteellisista ominaisuuksista¹¹⁹. Kiertorata vaikuttaa satelliitin kiertonopeuteen ja siihen kuinka nopeasti uutta kuvausala sensorin kuvattavaksi tulee. Tässä yhteydessä keskitytään tarkastelemaan alueellista kattavuutta valvontasensorille olennaisesta ominaisuudesta eli yhdellä kerralla kuvattavissa olevasta alueesta. Tähän alueelliseen kattavuuteen vaikuttaa lisäksi SAR-satelliittien valittavissa olevat erilaiset kuvausmoodit. Alueellinen kattavuus on myös kääntäen verrannollinen kuvaussensorin alueelliseen erotuskykyyn. Mitä parempi alueellinen kattavuus halutaan, sitä huonompi on yleensä alueellinen erotuskyky.¹²⁰

Lähes kaikissa SAR-satelliiteissa on useampia kuvausmoodeja, jotka muodostuvan kuvakoon mukaisesti vaikuttavat satelliitin alueelliseen kattavuuteen. Kuvassa 4 on esitetty TerraSAR-X-satelliitin eri kuvausmoodeja. Esimerkiksi kuvattaessa rajatun kaistan pyyhkäisyllä (strip-map) on saatavan kuva-alueen leveys 30 km ja erotuskyky noin 3 metriä. Käytettäessä spotlight-menetelmää on kuva-alan koko 10 km x 5–10 km ja erotuskyky 1 metri.¹²¹



Kuva 4. TerraSAR-X satelliitin eri kuvausmoodit ja niiden alueellinen kattavuus¹²².

¹¹⁷ COSMO-SkyMed System Description & User Guide, Italian Space Agency 2007, s. 17, <https://cosmo-skymed-ao.asi.it/asi/asi?aoname=cosmo&cmd=aodetail>, 24.1.2011.

¹¹⁸ Steinbakk, Line: KSAT as a provider of operational services for European maritime environment, safety and security, s. 22, <http://www.nersc.no/NTVA/Presentations/2009/L-Steinbakk-NTVA-290909.pdf>, 19.4.2011.

¹¹⁹ Larson, Wertz(2005), s. 164.

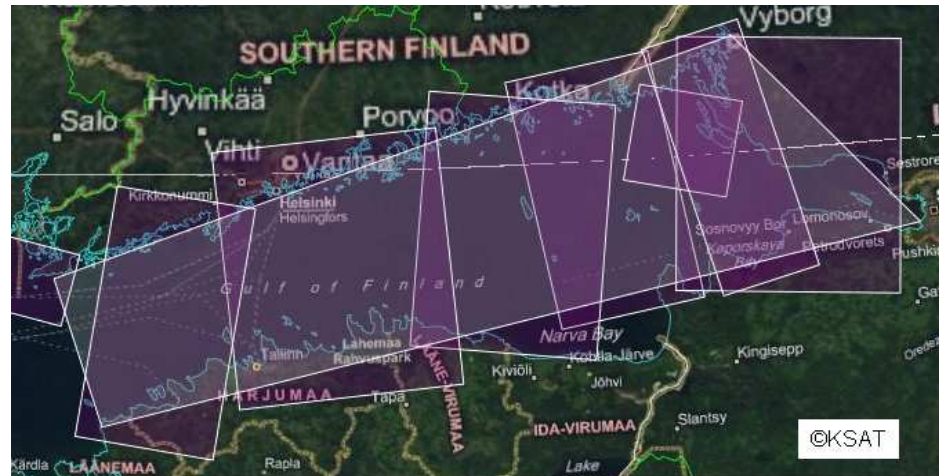
¹²⁰ Cracknell, Hayes(2007), s. 73.

¹²¹ TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document, s. 17.

¹²² Sama, s. 15–19.

Tyypillisimmät SAR-satelliittien pyyhkäisyalat ovat 50–100 kilometriä¹²³. RADARSAT - 2 satelliitilla pyyhkäisyala on laajimmillaan jopa 500 kilometriä, mutta tällöin saavutettava alueellinen erotuskyky on vain 100 metriä¹²⁴. Tutkielman liitteessä 1 olevassa taulukossa on SAR-satelliittien eri kuvausmoodeja ja niiden alueellisia kattavuuksia.

Polaarisia tai lähipolaarisia ratoja kiertävät SAR-satelliitit kykenevät kuvaamaan laajoja alueita pohjois-eteläsuunnassa erityisesti käytettäessä stripmap- tai ScanSAR-kuvausmoodeja. Laajan alueellisen kattavuuden kuvausmoodit soveltuvat hyvin pohjois-eteläsuuntaisten Itämeren alueiden valvomiseen. Valvontamahdollisuuksia havainnollistavat TerraSAR-X -satelliitin eri kuvausmoodeilla kuvatut alueet Ahvenanmaan ja Pohjois-Itämeren alueelta liitteessä 4. Ongelmana on kuitenkin itä-länsisuuntaisen Suomenlahden kuvaaminen. Koko alue kyetään kuvaamaan yhdellä kertaa erittäin laajalla pyyhkäisyalalla, mutta tällöin saavutettava erotuskyky on vain 100–150 metriä. Käytettäessä suurempaa erotuskykyä, joudutaan Suomenlahden kuvaaminen toteuttamaan useammalla eri satelliitilla tai useammalla yhden satelliitin ylityksellä. Kuvassa 5 on havainnollistettu Suomenlahden kuvausmahdollisuutta käyttämällä Cosmo-SkyMed -satelliitin stripmap-kuvausmoodia.



Kuva 5. Suomenlahti kuvattuna Cosmo-SkyMed-konstellaatiolla, jolla alue kyetään kattamaan kuudella Stripmap-pyyhkäisyllä.¹²⁵

Kuvan 5 mukaisesti koko Suomenlahden alue kyetään kuvaamaan Cosmo-SkyMed konstellaatiolla kuudella satelliitin ylityksellä yhden vuorokauden aikana. Suomenlahden leveyspii-

¹²³ Richards (2009), s. 68.

¹²⁴ RADARSAT Systems: *Satellite Characteristics*, Canadian Space Agency, <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/radarsat-tableau.asp>, 24.1.2011

¹²⁵ Dehli, Sigmund, International Sales Manager, KSAT, sähköpostiviesti, 16.3.2011. Materiaali kirjoittajalla. Kuva on toteutettu KSAT:n kuvaussuunnittelutyökalulla, jonka avulla kyetään määrittämään suunnitellun kuvausalueen kattamiseen tarvittavat satelliitit ja mahdolliset kuvausajat.

reillä Cosmo-SkyMed konstellaation ajallinen erotuskyky on todennäköisesti parempi kuin ilmoitettu 12 tuntia, todennäköisesti jopa noin neljä tuntia¹²⁶. Mikäli kuvaukseen käytetään TerraSAR-X -satelliittia, kestää vastaavan alueen kuvaaminen seitsemän vuorokautta.¹²⁷

Eri kuvausmoodeja voidaan käyttää hyväksi merivalvonnassa valvottaessa eri alueita. Avomerellä, missä valvottava alue on laaja ja alukset pääsääntöisesti suuria, voidaan käyttää laajan alueellisen kattavuuden kuvausmoodeja, joiden pyyhkäisyalat vaihtelevat 100 - 400 neliökilometriin. Tällöin kuitenkin saavutettava erotuskyky on karkeampi, esimerkiksi Radarsat-2 -satelliitin ScanSAR Narrow-moodi, jossa pyyhkäisyala on 400 kilometriä ja erotuskyky 50 metriä. Toisaalta valvottaessa rannikolla tai rannikon läheisyydessä voidaan käyttää pienemmän pyyhkäisyn ja tarkemman erotuskyvyn kuvausmoodeja, koska näillä alueilla myös alukset ovat yleensä pienempikokoisia.¹²⁸ Edelleen valvottaessa tarkasti rajattuja alueita, kuten satamia tai väyläkapeikkoja, voidaan käyttää Spotlight-moodia, jolloin samalla saadaan tarkempaa kuvaa yksittäisistä aluksista ja toiminnasta.

3.5. Polarisaatio

Uusimmissa SAR-satelliiteissa on siirrytty käyttämään yhden polarisaatiotason sijasta monipolarisoituja tutkia¹²⁹. Eri polarisaatioita käyttämällä saadaan optimoitua ja tuotettua erilaista tietoa kuvattavasta kohteesta. SAR-satelliitin tutka lähettää polarisoitua säteilyä eli säteilyä, joka on suodatettu säteilykuvioltaan etenemissuuntaan kohtisuoraksi tasomaiseksi säteilyksi. Tutkan lähettämä säteily voi olla, joko vertikaalisesti tai horisontaalisesti polarisoitua. Takaisinheijastuva säteily voi puolestaan olla erilaisia polarisoitunutta kohteesta riippuen.¹³⁰ Lähetyksen ja vastaanotetun säteilyn perusteella on mahdollista muodostaa seuraavanlaisia polarisaatioyhdistelmiä:

- lähettää ja vastaanottaa vertikaalista säteilyä (merkitään VV)
- lähettää vertikaalista ja vastaanottaa horisontaalista säteilyä (merkitään VH)
- lähettää horisontaalista ja vastaanottaa vertikaalista säteilyä (merkitään HV)
- lähettää ja vastaanottaa horisontaalista säteilyä (merkitään HH).¹³¹

¹²⁶ Vrt Karjalainen s. 18.

¹²⁷ Delhi.

¹²⁸ Gabban, A., Greidanus, H., Smith, A.J.E., Anitori, L., Thoorens, F.-X. & Mallorqui, J.: *Ship surveillance with TerraSAR-X scansar*, s. 2, http://sss.terrasar-x.dlr.de/papers_sci_meet_3/paper/OCE0105_gabban.pdf, 9.1.2011.

¹²⁹ Richards (2009), s. V.

¹³⁰ Hyypä Juha: *General features of Synthetic Aperture Radar Imagery*, Remote Sensing for Companies, http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswwww/vhrSAR_yleis.html, 14.2.2011.

¹³¹ Hyypä.

Eri polarisaatiovaihtoehtojen osalta on huomioitava, että kuvausalueelta takaisinheijastuva säteily on erilaista riippuen polarisaatiosta. Valitulla polarisaatiolla tai niiden yhdistelmillä on siis vaikutusta kohteista saatavaan tietoon.¹³² Polarimetrisiksi SAR-sensoriksi kutsutaan sensoria, joka kykenee vastaanottamaan kaikkia eri lineaarisen polarisaation variaatioita samalla kertaa (HH, HV, VH ja VV). Polarimetrinen ominaisuus mahdollistaa tarkemman säteilykuvion muodostamisen kuvattavista kohteista ja parantaa kohteiden tekstuurin havaitsemista. Erityisesti kuvattaessa suurella erotuskyvyllä Spotlight-moodissa voidaan hyödyntää eri polarisaatioiden hyötyjä.¹³³ Käytettäessä polarimetrisiä kuvausmoodeja alueellinen erotuskyky kuitenkin heikkenee. Esimerkiksi TerraSAR-X-satelliitilla erotuskyky pienenee Spotlight-moodissa 1,1 metristä 2,2 metriin.

Merialueita valvottaessa aiheuttaa HH-polarisoitu säteily pienemmän tutkaheijastuman meren pinnalta kuin VV-polarisoitu¹³⁴. Tämän takia HH-polarisoitu kuva tuottaa paremman tuloksen alusten havainnoinnissa, mutta VV-polarisoitu puolestaan aaltojen ja ennen kaikkea alusten peräaaltojen ja -vanan havaitsemisessa. Kulussa olevan aluksen muodostamia peräaaltoja ja -vanaa käytetään määrittäessä aluksen kulkusuuntaa ja kulkunopeutta. Tällöin erityisesti pienemmän alueellisen erotuskyvyn aineistoissa polarisaatiolla on merkitystä aineiston käytettävyydelle¹³⁵.

3.6. Satelliittiaineistojen saatavuus

Kaupallisten satelliittipalvelujen käyttäminen on perusteltua normaaliolojen aikana, jolloin aineistoja hankitaan pääasiassa tutkimuskäyttöön ja täydentämään valvontatietoja. Osa palveluntarjoajista toimittaa materiaalia jopa ilmaiseksi tuotepalveluidensa markkinoimiseksi.¹³⁶

Häiriötilanteiden ja poikkeusolojen aikana satelliittiaineistojen saaminen kaupallisilta palveluntarjoajilta on vähintäänkin kyseenalaista. Tällöin etuoikeus satelliittijärjestelmien käyttöön

¹³² Hyypä.

¹³³ Vachon, Paris W.: *Ship Detection in Synthetic Aperature Radar Imagery*, Proceedings OceanSAR 2006 – Third Workshop on Coastal and Marine Applications of SAR, Canada 2006, s. 3, http://www.oceansar2006.com/papers/82_Vachon_Oceansar2006.pdf, 20.2.2011. Kohteen tekstuurilla tarkoitetaan tässä yhteydessä havainnoitavan aluksen kansirakenteista ja muodoista syntyvää kokonaisuutta, joka näkyy eri kohdista takaisinheijastuneen säteilyn intensiteetissä.

¹³⁴ Vachon, P.W., Cambell, J.W.M., Bjerkelund, C.A., Dobson, F.W., Rey, M.T.: Ship Detection by the Radarsat SAR: Validation of Detection Model Predictions, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol 23, No. 1, 1997, s.49.

¹³⁵ Tunaley, J.K.E.: Algorithms For Ship Detection and Tracking Using Satellite Imagery, Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '04, IEEE International, vol. 3, 2004, s.1805.

¹³⁶ Kemppe, Jari, FM, ILMAVE, Satelliittiaineistojen saatavuus ja käytettävyys valvontaan, haastattelu 24.2.2011. Haastattelussa Kemppe toi esille e-GEOS -satelliittipalvelujen tuottajan, joka tarjoaa tuotteitaan ilmaiseksi tutkimus- ja kehittämistoimintaan. e-GEOS:n yhtenä tuotepalveluna on SAR-satelliitteihin perustuva merivalvonta (www.e-geos.it/applications/maritime.html).

on yleensä kansallisilla omistajavaltioilla tai suurimmilla kaupallisilla asiakkaila.¹³⁷ Esimerkiksi Cosmo-SkyMed -satelliittijärjestelmän käyttäjän ohjekirjassa on maininta viranomaisten etuoikeudesta satelliittiaineistojen saamiseksi tai tietyn alueen kuvaamiseksi.¹³⁸ Tarkimman erotuskyvyn aineistoa ei myöskään ole välttämättä saatavilla. TerraSAR-X -aineiston osalta tarkimman erotuskyvyn aineisto (erotuskyky noin 1,1 metriä) luovutetaan erotuskyvyltään pienennettynä noin 2,5 metrin resoluutioon¹³⁹.

Satelliittiaineistot on edullisinta tilata esikäsiteltyinä ja merivalvontakäytössä jopa alusten havaitsemis- ja tunnistusalgoritmeilla käsiteltynä. Tällöin aineistossa on tilaajan halumassa muodossa havaitut alukset sekä niiden tunnistetiedot (havaintohetki, paikka, arvioitu pituus, arvioitu kulkusuunta ja -nopeus sekä mahdolliset tunnistetiedot muista järjestelmistä).¹⁴⁰ Mikäli SAR-aineistoa halutaan tilata raakadatana, on käyttäjällä oltava kyseisen satelliitin datan käsittelyyn soveltuva prosessori. Mitä vähemmän esikäsiteltyjä aineistot ovat, sitä suurempia aineistot ovat ja sitä suuremmaksi aineiston saamisen viiveet muodostuvat, koska niiden siirtäminen satelliitista maa-asemalla ja edelleen tietoverkoissa on hidasta.¹⁴¹ Satelliittiaineistojen saamista voidaan varmentaa ja samalla raakadatan saamista nopeuttaa hankkimalla satelliittijärjestelmien datan vastaanottamiseen soveltuva maa-asema. Useat satelliittioperaattorit kauppaavat satelliittiaineistojen vastaanottamiseen tarvittavia maa-asemia, joilla on samalla kyky käsitellä ja jakaa aineistoa eteenpäin¹⁴². Suomessa Ilmatieteen laitos hyödyntää Kongsberg Spacetecon Sodankylään toimittamaa maa-asemaa muun muassa Radar-sat- ja Envisat-satelliittiaineistojen vastaanottamiseen¹⁴³.

Merivalvontapalveluita tuottavat kaupalliset palveluntarjoajat välittävät SAR-aineistoihin perustuvat valvontatiedot internetin välityksellä käyttäen eri tiedostomuotoja. Analysointiohjelmat tuottavat valvontatiedot esimerkiksi xml- (Extensible Markup Language) tai kmz- (pakattu Keyhole Markup Language) -tiedostoina. Valvontatietoihin liittyvät kuvat lähetetään eri

¹³⁷ Kalliomäki ja Kemppi. Kumpikin haastateltava toi esille kaupallisten aineistojen mahdollisen saatavuusongelman erityisesti poikkeusoloissa. Esimerkiksi operaatio IRAQ Freedomin aikana USA osti kaikkien kaupallisten palveluntarjoajien kuvauskapasiteetin estäen muiden asiakkaiden aineistojen saamisen.

¹³⁸ *COSMO-SkyMed System Description & User Guide*(2007), s. 17.

¹³⁹ Brusch, Stephan, Lehner, Susanne, Fritz, Thomas, Soccorsi, Matteo: Ship Surveillance With TerraSAR-X, s. 5, http://www.nova.edu/ocean/Physics/PDF/Brusch_et_al_2010.pdf, 28.2.2011.

¹⁴⁰ *Maritime Surveillance*, e-GEOS, communication /04-2010b, <http://www.e-geos.it/applications/maritime.html>, 25.2.2011.

¹⁴¹ Kemppi ja Tandem-X, The Earth in three dimensions, DLR, s. 17, http://www.dlr.de/eo/en/desktopdefault.aspx/tabid_5727/10086_read-21046/, 25.2.2011. Esimerkiksi TerraSAR-X-satelliitin sisärsatelliitin Tandem-X:n muistikapasiteetti on 350 terabittia, joka vastaa 45 000 DVD-levyn tallennuskapasiteettia.

¹⁴² *Avaruusulottuvuus Suomen puolustuksessa*, s. 2 ja *COSMO-SkyMed System Description & User Guide*, s. 13.

¹⁴³ KSPT Satellite ground station components for Sodankyla Groundstation, Finland, <http://www.spacetecon.no/news/kspt-satellite-ground-station-components-for-sodankyla-groundstation-finland>, 29.3.2011.

pyynnöstä ja yleensä heikennetyllä erotuskyvyllä tiedostokoon pienentämiseksi. KSAT käyttää valvontatietojen välittämiseen vakioitua raporttia, jota on hyödynnetty EU:n ja EMSA:n (European Maritime Safety Agency) merivalvontaan liittyvissä hankkeissa¹⁴⁴. Merivoimilla on käynnissä hanke eri tiedostorajapintojen sovittamisesta MEVAT-järjestelmään, jonka jälkeen valvontatiedot kyetään siirtämään suoraan meritilannekuvaan¹⁴⁵.

4. SAR-SATELLIITIT MERIVALVONTASENSOREINA

Tällä hetkellä operatiivisessa merivalvonnassa tai eri merivalvontahankkeissa kyetään hyödyntämään SAR-satelliittien tuottamaa valvontatietoa. Satelliittien etuna merivalvonnassa muihin valvontasensoreihin verrattuna on niiden suuri alueellinen kattavuus, mikä mahdollistaa valvontakyvyn rannikon kiinteiden valvontasensoreiden kantaman ulkopuolelle ja meriliikenteen seuraamisen hyvinkin etäältä aluevesirajojen ulkopuolelta esimerkiksi ennakkovaroituksen saamiseksi.¹⁴⁶ Selkeänä haittana on SAR-aineistojen ajoittainen rajallinen saatavuus johtuen yksittäisten satelliittijärjestelmien rajoittuneesta ajallisesta erotuskyvystä. Lisäksi SAR-aineistoja ei käytetä yksistään meritilannekuvan muodostamiseen, vaan tunnistetun tilannekuvan luomiseksi havainnot yhdistetään muiden valvontasensoreiden tuottamaan tietoon¹⁴⁷.

Kansainvälisissä ja eri maiden kansallisissa tutkimusohjelmissa ja -hankkeissa on tutkittu runsaasti SAR-satelliittien hyödyntämistä merivalvonnassa sekä avomerellä että rannikon läheisyydessä. Tällaisia ohjelmia ja hankkeita ovat esimerkiksi EU:n ympäristön seuranta ja turvallisuusohjelma GMES (Global monitoring of Environment and Security), GMES-ohjelman alaohjelma MARISS (European Maritime Security Service), EDA:n johtama sotilasviranomaisten välinen MARSUR (Maritime Surveillance) -hanke ja useiden valtioiden välinen yhteishanke MUSIS (Multinational Space-based Imaging System).

Ohjelmiin ja hankkeisiin liittyvissä tutkimuksissa sekä eri julkisyhteisöjen tekemissä tutkimuksissa on tutkittu ja vertailtu eri SAR-satelliittien käytettävyyttä merivalvontaan. Viimeaikaiset tutkimukset keskittyvät korkean erotuskyvyn, polarimetristen ja interferometristen

¹⁴⁴ Brekke, Camilla: *Automatic ship detection based on satellite SAR*, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 4 May 2009, s. 20, <http://rapporter.ffi.no/rapporter/2008/00847.pdf>, 17.1.2011.

¹⁴⁵ Soininen.

¹⁴⁶ Vachon (2006), s. 1 ja Wang, Juan, Sun, Lijie, and Zhang, Xuelan: *Study Evolution of Ship target Detection and Recognition in SAR imagery*, Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing (ISIP'09), China 2009, s. 147, <http://www.academypublisher.com/proc/isip09/papers/isip09p147.pdf>, 20.2.2011.

¹⁴⁷ Greidanus, Kourti, s. 8.

ominaisuuksien käyttöön merivalvonnassa. Näissä tutkimuksissa on keskitytty uusimpien SAR-satelliittien (Radarsat-2, TerraSAR-X ja Cosmo-SkyMed) käytettävyyden arviointiin. Valvontakyvyn osalta useimmissa tutkimuksissa on keskitytty kalastusalusten ja pienten aluskohteiden valvontaan eri maiden kalastusvyöhykkeillä ja rannikon läheisyydessä.

Tässä luvussa tutkimustuloksia arvioidaan suhteessa EUSC:n asettamiin valvontasatelliittien avaintekijöihin (luku 2.6 Merivalvontasensorilta vaadittava suorituskky, s. 18). SAR-satelliittiaineistoista saatujen tutkimustulosten yleistäminen on vaikeaa johtuen eri satelliittiaineistojen, ohjelmistojen ja algoritmien käyttämisestä tutkimuksissa sekä erilaisten olosuhteiden vaikutuksista tuloksiin. Kaikissa tutkimuksissa ei ole myöskään tuotu esille havaittujen alusten kokoluokkia. Joitakin karkeita yleistyksiä ja oletuksia voidaan kuitenkin tehdä SAR-aineistojen käytettävyydestä.

4.1. Alusten havaitseminen, luokittelu ja tunnistaminen

Alusten havaitseminen SAR-aineistosta perustuu aluksista tai niiden peräaalloista aiheutuvien tutkaheijastumien erottamiseen meren aiheuttamasta taustaheijastumasta. SAR-aineistojen analysoinnissa ja alusten havainnoinnissa käytetään erilaisia automaattisia alusten havaitsemisohjelmia, kuten esimerkiksi Joint Research Centerin (JRC) kehittämää SUMO (Searching for Unidentified Maritime Objects) -ohjelmaa tai Kongsberg Spacetecin kehittämää MEOS-ohjelmaa¹⁴⁸. Useimmilla automaattisilla alusten havainnointiohjelmilla on kyky tuottaa aluksen havaintopaikkatiedon lisäksi tiedot aluksen pituudesta, leveydestä, kulkusuunnasta ja nopeudesta. Osa ohjelmista laskee lisäksi havaintojen luotettavuusarvot ja alusten tutkapoikkipinta-alat sekä kykenee yhdistämään havaintoja muiden sensoreiden valvontatietoihin.¹⁴⁹

Käytettäessä merivalvontaan kattavimman alueellisen suorituskkyvyn ScanSAR-kuvausmoodia ja Cosmo-SkyMed-, Envisat-, Radarsat-1- ja TerraSAR-X-satelliitteja voidaan alusten havaintoprosentiksi olettaa vähintään 91 prosenttia¹⁵⁰. Käyttämällä paremman erotuskkyvyn Stipmap-kuvausmoodia (erotuskkyky 3–30 metriä) ja pienempää alueellista kattavuutta, paranee havain-

¹⁴⁸ Gabban (ja muut), s. 3. SUMO-ohjelmaa käytetään EU:n merivalvontahankkeissa alusten havainnointiohjelmiana. Vastaava ohjelmisto on esimerkiksi Kongsberg Spacete AS:n MEOS SAR Ship Detection -ohjelmisto. (MEOSTM SAR Ship Detection, http://www.spacete.no/download_docs/doc_pdf/SAR-Ship.pdf/view, 29.3.2011.)

¹⁴⁹ Sama s. 1 ja Greidanus, Kourti s. 3. Declims-projektissa testattiin kaikkiaan yhdeksän SAR-aineistojen analysointiohjelmistoa. Testatut ohjelmistot ja havainnot tuloksista ovat luettavissa Greidanuksen ja Kourtin aineistosta.

¹⁵⁰ Lorenzetti (ja muut 2010). Tulosten perusteella kaikilla satelliiteilla saatiin alusten havaitsemisprosentiksi yli 91 prosenttia. Huomattavaa tuloksissa oli Cosmo-SkyMed-satelliitin pienin havaintoprosentti. Tulos johtui todennäköisesti Cosmo-SkyMed:ssä käytetystä vertikaalipolarisaatiosta, kun taas muilla satelliiteilla käytettiin pääasiassa horisontaalipolarisaatiota.

toprosentti yli 93 prosenttiin¹⁵¹. Havaintoprosentin oleellisen kasvattamisen sijasta Stripmap-kuvausmoodin käytöllä parannetaan pienten alusten havaitsemiskykyä.

Lorenzzettin, Paesin ja Gherardin tekemässä vertailussa huomattavaa oli runsas väärin havaintojen lukumäärä, mikä heikentää automaattisten havaintojen käytettävyyttä meritilannekuvan muodostamisessa¹⁵². Esitettyihin havaintoprosentteihin pääseminen edellyttääkin analysoidun tiedon visuaalista tarkastamista, erityisesti valvottaessa rannikon läheisyydessä, väärin havaintojen poistamiseksi valvontatiedoista¹⁵³.

Havaintoprosenttien lisäksi tutkimustuloksista voidaan arvioida minkä kokoisten alusten havaitsemiseen SAR-satelliiteilla kyetään. Käyttämällä vertailujärjestelmänä heikoimman alueellisen erotuskyvyn SAR-satelliitteja eli Envisat- ja Radarsat-1 -satelliitteja, voidaan arvioida minkä kokoluokan alukset vielä havaitaan. Tulosten perusteella näillä SAR-satelliiteilla kyetään havaitsemaan suuren pyyhkäisyalan ScanSAR-moodilla 50 metrin erotuskyvyllä vähintäänkin 75 metriset alukset ja Stripmap-kuvausmoodilla 30 metrin erotuskyvyllä alukset, joiden pituus on yli 20 metriä¹⁵⁴. Todennäköisesti paremman erotuskyvyn satelliiteilla (Cosmo-SkyMed, TerraSAR-X tai Radarsat-2) kyetään vähintäänkin vastaaviin tuloksiin¹⁵⁵.

SAR-aineistojen tarkempi analysointi eli havaittujen aluksien luokittelu ja tunnistaminen perustuu kohteiden kokoon, muotoon, rakenteeseen ja heijastusominaisuuksiin eli yleistettynä tutkapaikkipinta-alaan ja tekstuuriin.¹⁵⁶ Luokittelua ja tunnistamista varten on havaituista aluksista saatava mahdollisimman korkean erotuskyvyn aineistoa. Korkean erotuskyvyn satelliitit antavat aluksista myös tarkempaa tietoa niiden muodoista ja kansirakenteista sekä esimerkiksi kannella olevista suuremmista asejärjestelmistä¹⁵⁷. Tällöin havaituista kohteista saa-

¹⁵¹ Brusch (ja muut 2010), s. 11. MARISS-hankkeeseen liittyvässä tutkimuksessa TerraSAR-X-satelliittien alusten havaintoprosentiksi saatiin yli 93 prosenttia 60 metrin pituisiin aluksiin. Osin samojen kirjoittajien vastaavaan tutkimukseen liittyvässä raportissa havaintotodennäköisyydeksi ilmoitettiin yli 98 prosenttia (Lehner, Susanne, Brusch, Stephan, Soccorsi Matteo: Maritime Surveillance Using TerraSAR-X). Greidanius, Kourti. Declims-projektissa Radarsat-1-satelliitille saatiin 25 metrin erotuskyvyllä havaintoprosentiksi yli 90 prosenttia kalastusaluksiin, jotka olivat yli 25 metrin mittaisia.

¹⁵² Lorenzzetti (ja muut 2010), s. 23. Tutkimusryhmän mielestä kaikilla satelliiteilla (Cosmo-SkyMed-, Envisat-, Radarsat-1- ja TerraSAR-X) esiintyi suhteellisen paljon vääriä alushavaintoja. Lukumäärällisesti eniten vääriä havaintoja muodostui Cosmo-SkyMed:n aineistosta.

¹⁵³ Gabban (ja muut), s. 6.

¹⁵⁴ Indregard, Marte, Bauna, Tony, Soleng, Nina, Jefferies, Bill, O'Neill, Kevin, Harms, Jochen: *"Compass" a joint effort to meet the need for maritime situational awareness*, s. 1. Greidanius ja Kourti (Graidanus, Kourti, s. 2.) antavat Radarsat-1-satelliitille hiukan paremman suorituskyyarvot Declims-projektin tulosten perusteella. Heidän mukaan ScanSAR-moodilla havaittiin 80 prosenttisesti kaikki yli 45 metriset kalastusalukset ja Standard Beam-moodilla 90 prosenttisesti kaikki yli 35 metriset alukset.

¹⁵⁵ Gabban (ja muut), s. 9. Tutkimuksessa TerraSAR-X-satelliitin ScanSAR-kuvausmoodilla (erotuskyky 16 m) kyettiin havaitsemaan kalustusaluksia, jotka olivat alle 20 metrisiä.

¹⁵⁶ Wang (ja muut 2009), s. 148.

¹⁵⁷ Tunaley(2004), s.1804.

tava lisätieto parantaa luokittelun tarkkuutta. Liitteessä 5 on esimerkki korkean erotuskyvyn SAR-kuvasta sekä kuvaparit, joita voidaan käyttää alusten luokitteluun. Julkisissa lähteissä keskitytään tarkastelemaan vain alusten havaitsemista ja tarkemmasta luokittelusta tai tunnistamisesta on vain mainintoja. Liitteen 5 korkean erotuskyvyn kuva antaa kuitenkin käsityksen uusimpien satelliittien kuvaustarkkuudesta ja sen riittävydestä alusten luokitteluun. Käytännössä automaattiset havainto-ohjelmat eivät kykene luokitteluun aluskohteita, vaan luokittelu on toteutettava visuaalisena luokitteluna valvontaa toteuttavien operaattoreiden toimenpitein¹⁵⁸.

Visuaalisen luokittelun tukena voidaan käyttää alusten tutkapaikkipinta-aloja ja aluskoh-
taisia signaalikirjastoja. SAR-aineistosta voidaan laskennallisesti määrittää alusten tutkapaikkipinta-aloja, joita voidaan verrata tunnettuihin alusten tutkapaikkipinta-aloihin ja näin käyttää luokittelun ja tunnistamisen tukena. Määritykset olisi kuitenkin tehtävä eri useista suunnista, jotta niiden perusteella päästään hyväksyttävään luokittelutulokseen.¹⁵⁹ Ongelmana on kuitenkin julkisen standardisoidun SAR-vertailuaineiston puuttuminen¹⁶⁰.

Kaikkia valvontasensorille asetettuja vaatimuksia (havaitseminen, luokittelu, tunnistaminen, seuranta ja kuvausten toistettavuusvaatimukset) ei ole mahdollista täyttää yksittäisellä satelliittijärjestelmällä¹⁶¹. Käytössä olevien kaupallisten SAR-satelliittien alueellinen erotuskyky ei vielä riitä automaattiseen tai puoliautomaattiseen aluskohteiden tunnistamiseen. Tunnistamisen tueksi tarvitaan muiden valvontasensoreiden tietoja, esimerkiksi optisia satelliittikuvia tai AIS-tietoja.¹⁶² Tämän takia käytettävien SAR-satelliittijärjestelmien tärkeimmiksi vaatimuksiksi muodostuvat kyky vähintäänkin luokitella havaitut alukset ja riittävän ajallisen kattavuuden eli riittävän valvontakuvauksien toistettavuuden saavuttaminen, jotta alusten seuranta kyetään toteuttamaan.

4.2. Alusten paikka- ja liiketekijöiden määrittäminen

Alusten paikkatiedot saadaan määritettyä georeferoidusta SAR-aineistosta. Paikkatiedon määrittämiseksi on SAR-aineistosta kyettävä erottamaan kulussa olevan aluksen peräaalot tai -vana, jonka alkupisteessä on aluksen todellinen sijainti. Mikäli aluksen paikkatieto määritetään aluksen havaintopisteestä, on syntyvä paikannusvirhe suhteessa aluksen kulkunopeuteen

¹⁵⁸ Greidanus, Kourti, s. 3.

¹⁵⁹ Vachon (ja muut 1997), s. 49, 51.

¹⁶⁰ Wang (ja muut 2009), s. 149.

¹⁶¹ Vachon (2006), s. 3 ja *Satellite requirements vs. capabilities*, s. 16.

¹⁶² *Satellite requirements vs. capabilities*, s. 16.

doppler-siirtymän takia.¹⁶³ Yleistettynä paikannustarkkuuden pitäisi olla parhaimmillaan kuvausalueen keskikohdalla, josta paikannustarkkuus heikkenee kohti kuvausalueen reunoja. Paikannustarkkuuden heikkeneminen aiheuttaa ongelmia yhdistettäessä satelliittiaineistosta saatua valvontatietoa muiden sensoreiden tietoihin erityisesti tilanteissa, joissa suppealla valvonta-alueella on runsaasti aluskohteita.¹⁶⁴ Paikannustarkkuuteen vaikuttaa satelliitin kuvausgeometrian tarkkuus sekä analysointiohjelmiston kyky käsitellä aineistoa. Parhaimmillaan SAR-satelliiteilla päästään noin 2 metrin paikannustarkkuuksiin.¹⁶⁵

Havaittujen alusten kulkusuunnat voidaan määrittää joko aluksen rungon suuntautumisesta tai kulussa olevan aluksen peräaalloista. Mikäli peräaaltoa ei havaita, esimerkiksi voimakkaan aallokon johdosta, on kuvan erotuskyvyn oltava riittävän hyvä aluksen kylkilinjan hahmottamiseksi. Tällöin osalla SAR-satelliitteja ScanSAR-kuvausmoodin 50 metrin erotuskyky voi olla liian karkea liiketekijöiden määrittämiseksi. Tämä korostuu erityisesti pienien alusten kohdalla, jolloin SAR-kuvassa alusta edustaa yhdestä kahteen kuvan pikseliä.¹⁶⁶ Käytännön testeissä on saatu alusten kulkusuuntien määrittämisen tarkkuudeksi 10–20 astetta¹⁶⁷. Suurimmat virhetekijät syntyvät alusten runkojen epävakaasta liikehtimisestä voimakkaassa aallokossa. Erityisesti virhetekijä korostuu satelliitin kulkusuunnan mukaisten liiketekijöiden määrittämisessä.¹⁶⁸

Alusten kulkunopeuksia voidaan määrittää SAR-aineistosta useammalla eri tavalla. Yksinkertaisin tapa on määrittää aluksen nopeus peräaalton keskilinjan ja aluksen tutkakaiun mukaisen paikan välisestä erosta¹⁶⁹. Useimmissa tutkimuksissa SAR-aineistosta määritettyjä kulkunopeuksia on verrattu AIS-ilmoituksien mukaisiin kulkunopeuksiin. Vertailujen perusteella määritetyt kulkunopeudet ovat olleet lähellä AIS-ilmoitusten mukaisia nopeuksia¹⁷⁰.

¹⁶³ Greidanus, Kourti, s. 7.

¹⁶⁴ Gabban (ja muut), s. 6, 9.

¹⁶⁵ *TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document*, s. 31.

¹⁶⁶ Tunaley (2004,) s. 1804–1805..

¹⁶⁷ Brusch (ja muut), s. 7 ja Gabban (ja muut), s. 6. Soininen: Toistaiseksi Merivoimissa saatujen kokemusten perusteella tulokset ovat olleet huomattavasti heikompia. Syynä tähän on ollut satelliittiaineiston heikompi erotuskyky ja todennäköisesti kuvaushetkellä vallinneet sääolosuhteet.

¹⁶⁸ Greidanus, Kourti, s. 3. Itämeren olosuhteissa tämä voi tarkoittaa, että polaarisia ja lähipolaarisia ratoja kiertävillä SAR-satelliiteilla kyetään kulkusuunnat määrittämään tarkemmin itä-länsi suuntaiselle alusliikenteelle kuin pohjois-etelä suuntaiselle liikenteelle.

¹⁶⁹ Tunaley (2004), s. 1806. Tunaleyn mukaan tällä menetelmällä kyetään alusten nopeudet määrittämään kahden solmun tarkkuudella.

¹⁷⁰ Brusch (ja muut), s. 10.

4.3. Eri kuvausmoodien vaikutus valvontakykyyn

Valittaessa SAR-satelliittien eri kuvausmoodeja merivalvontaan joudutaan valinta tekemään tarkemman alueellisen erotuskyvyn tai laajemman alueellisen kattavuuden välillä. Mitä suurempi alue halutaan kerralla valvottavan, sitä pienempi on alueellinen erotuskyky. Merivalvonnan kannalta oleellista onkin riittävän tarkan ennakkotiedon saaminen valvonta-alueiden rajaamiseksi ja oikeiden kuvausparametrien määrittämiseksi, jotta valvonta kyetään toteuttamaan alusten luokitteluun riittävällä erotuskyvyllä. Korkean erotuskyvyn vaatimus alusten luokittelemiseksi rajoittaa käytettävän kuvausmoodin Stripmap-kuvausmoodiin. Rajoitus samalla kaventaa käytettävissä olevan kuvausalan leveyden noin 30–40 kilometriin.

Erotuskyvyn ja kattavuuden lisäksi SAR-aineistoa valittaessa tulisi huomioida polarisaation vaikutus valvontatuloksiin. SAR-sensorin polarisaatiolla on havaittu olevan suuri merkitys alusten havaitsemiseen erityisesti voimakkaassa aallokossa. Monikanavainen polarisoitu SAR-aineisto tuottaa selvästi parempia havaintotodennäköisyyksiä kuin yksikanavaisen tai kaksikanavaisen polarisaation käyttö. Yksikanavaisella SAR-sensorilla HV tai VH tuottaa paremman tuloksen kuin HH tai VV. Täysin polarisoitu korkean erotuskyvyn SAR-aineisto on osoittautunut parhaaksi vaihtoehdoksi alusten luokittelemiseen sekä liiketekijöiden määrittämiseen.¹⁷¹ Tällaiset vaatimukset täyttäviä satelliitteja ovat Cosmo-SkyMed, Radarsat-2 ja TerraSAR-X -satelliitit.

Käytettävän erotuskyvyn valinnassa on myös huomioitava mahdollisen häirinnän vaikutus SAR-sensorin valvontakykyyn. Mitä karkeampi SAR-sensorin erotuskyky on, sitä helpompi sitä on häiritä esimerkiksi sijoittamalla tutkaheijastimia satama- ja kiintomerkkialueille tai yksittäisiin aluksiin.¹⁷² Karkean erotuskyvyn aineistossa tutkaheijastimesta syntyvä tutkakaiku voi peittää aluksesta syntyvän tutkakaiun ja estää kohteen tarkemman luokittelemisen tai jopa havaitsemisen. SAR-satelliittien kuvaamista häiritseviä tutkaheijastimia voidaan erityisesti hyödyntää pyrittäessä salaamaan saaristoon tai satama-alueille tukeutuneet alukset sekä pyrittäessä kyllästämään valvontasensori väärillä havainnoilla.

¹⁷¹ Liu, C., Vachon, P.W., Geling, G.W.: Improved ship detection with airborne polarimetric SAR data, Canadian journal of Remote Sensing, vol 31, No. 1, 2005, s. 126, 129. Tutkijoiden havaintojen mukaan mitä enemmän tietoa SAR-aineistosta on käytettävissä, sitä tarkempia ovat saatavat valvontatiedot.

¹⁷² Kemppi

5. KOOTUT TUTKIMUSTULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen pääkysymyksenä oli selvittää, miten SAR-satelliitteja voidaan hyödyntää merivalvonnassa. Pääkysymyksen selvittämiseksi tutkittiin alakysymyksinä meritilannekuvan muodostamisen tietotarpeiden asettamia vaatimuksia valvontasensorille ja miten käytössä olevat SAR-satelliittijärjestelmät kykenevät vastaamaan tunnistettuihin merivalvonnan tietotarpeisiin. Merivalvonnan tietotarpeiden ja SAR-satelliittien suorituskyvyn lisäksi selvitettiin kaupallisten SAR-aineistojen saatavuutta. Tutkimuskysymyksiä lähestyttiin meritilannekuvan muodostamisen näkökulmasta.

Meritilannekuvan muodostamisessa tärkeimmäksi tietotarpeeksi ja valvontasensoreille asetettavaksi vaatimukseksi muodostui kyky tuottaa reaaliaikaista tai lähes reaaliaikaista valvontatietoa kaikkina vuorokauden aikoina ja kaikissa sääolosuhteissa ympäri vuoden. Lisäksi valvontakyky tulee kyetä ulottamaan mahdollisimman etäälle aluevesirajasta kattavan meritilannekuvan muodostamiseksi. SAR-satelliittien lisääntyvä käyttö merivalvonnassa perustuukin SAR-sensoreiden vahvuuksina olevien jokasään toimintakyvyn ja laajan alueellisen kattavuuden hyödyntämiseen. Itämeren alueella SAR-satelliittien laajan alueellisen kattavuuden lisäksi korostuu valvonnan toistettavuus eli ajallinen erotuskyky, koska etäisyydet Itämeren alueella ovat lyhyitä ja valvottavat alueet suhteellisen pieniä.

Esitettyjen vaatimusten lisäksi merivalvontasensorina käytettävän SAR-satelliitin aineistosta tulee kyetä vähintäänkin havaitsemaan ja luokittelemaan sekä seuraamaan valvottavalla alueella liikkuvia aluskohteita. Itämeren alueella havaintovaatimuksena voidaan pitää pienimpien taistelualusten havaitsemista, mikä edellyttää yli 30 metristen alusten havaitsemiskykyä. Meritilannekuvan käytettävyyden kannalta aluskohteet tulee kyetä myös luokittelemaan, eli vähintäänkin erottelemaan taistelualukset kauppa-aluksista sekä luokittelemaan taistelualukset eri alusluokkiin. Aluskohteiden luokitteluvaatimus asettaa SAR-satelliittien alueelliselle erotuskyvylle havaitsemista tiukemmat vaatimukset. Aluskohteiden luokittelu edellyttää SAR-satelliiteilta alle 4,5 metrin alueellista erotuskykyä. Aluskohteiden tunnistaminen kasvattaa erotuskykyvaatimuksen alle metrin erotuskykyyn. Meritilannekuvan muodostamisen kannalta SAR-satelliittien tärkeimmiksi avaintekijöiksi muodostuivat kyky havaita ja luokitella havaitut aluskohteet. Luokittelun perusteella meritilannekuvasta kyetään muodostamaan arvio, joka vaikuttaa seuraavien SAR-satelliittien kuvauksien toteuttamiseen sekä ohjaa liikkuvan ja kiinteän valvontakyvyn käyttöä.

Valvontasensorilta vaadittava aluskohteiden seurantakyky asettaa vaatimukset SAR-satelliittien ajalliseksi erotuskyvyllä. Normaaliolojen aikana SAR-satelliiteilla tulisi kyetä valvomaan merialueita neljän tunnin välein. Siirryttäessä uhkaavien tai seurattavaksi käskettyjen aluskohteiden valvontaan tulisi valvonta kyetä toteuttamaan SAR-satelliiteilla vähintään yhden tunnin välein. Vaadittavat neljän ja yhden tunnin ajalliset erotuskykyvaatimukset edellyttävät kykyä satelliittien joustavaan ja nopeaan käskyttämiseen sekä valvontatietojen saamista lähes reaaliajassa, jotta meritilannekuva kyetään päivittämään ja analysoimaan ennen satelliitin seuraavaa valvontakuvauksen mahdollistamaa rata kierrosta.

Tutkimuksessa käsiteltyjä SAR-satelliittijärjestelmiä hyödynnetään yhä enenevässä määrin operatiivisessa merialueiden valvonnassa ja meritilannekuvan muodostamisessa. Kaupalliset merivalvontaan SAR-satelliittipalveluja tuottavat toimijat kykenevät toimittamaan SAR-aineistoihin perustuvat valvontatiedot lähes reaaliajassa. Satelliitin kuvaushetkestä esianalysoidut valvontatiedot toimitetaan 10–30 minuutissa tilaajalle internetin välityksellä. Rajoittavana tekijänä SAR-satelliittien käytössä on ajallinen erotuskyky. Vaikka polaarisia tai lähipo-laaria ratoja kiertävien satelliittien ajallinen erotuskyky paranee leveyspiirin kasvaessa, yksittäisen SAR-satelliittijärjestelmän ajallinen erotuskyky ei kuitenkaan riitä vaadittavaan valvontatilanteesta riippuvaan neljän tai yhden tunnin välein tapahtuvaan meritilannekuvan päivittämiseen. Itämeren leveyspiireillä, 53,55° N pohjoiseen, valvonta kyetään toteuttamaan yksittäisellä SAR-satelliitilla 1–2 vuorokauden välein. Käytettäessä Cosmo-SkyMed -järjestelmän neljän satelliitin konstellaatiota paranee ajallinen erotuskyky noin neljään tuntiin. Vaadittavaan vähintäänkin neljän tunnin ajalliseen erotuskykyyn pääsemiseksi tulisi käytössä olla vähintään neljä SAR-satelliittia ja yhden tunnin ajalliseen erotuskykyyn pääsemiseksi vähintään kahdeksan satelliittia. Satelliittien ajallista erotuskykyä heikentää lisäksi valvontatehtävien käskyttämisestä aiheutuvat viiveet. Normaaliolojen aikana SAR-satelliitilla valvottava alue voidaan pitää vakiona, mutta häiriö- ja poikkeusolojen aikana valvottavia alueita voidaan joutua muuttamaan tai ajallista erotuskykyä nostamaan yhteen tuntiin. Tällöin satelliitteja on käskytettävä useammin ja samalla SAR-aineiston saatavuuden viiveet voivat kasvaa 18 tunnista 72 tuntiin.

Aluskohteiden havaitseminen ja luokittelu toteutetaan SAR-aineistosta automaattisten tai puoliautomaattisten ohjelmistojen avulla. Pidettäessä havaitsemiskyvyn rajana yli 30 metristen alusten havaitsemista, saadaan SAR-aineistoista aluskohteiden havaitsemisen todennäköisyyksiksi yli 90 prosenttia. Tähän vaadittavalla erotuskyvyllä voidaan merivalvonnassa käyttää korkeamman erotuskyvyn SAR-satelliittien ScanSAR-kuvausmoodeja, jolloin alueellinen

kattavuus säilyy vielä kohtalaisen suurena pyyhkäisyalojen ollessa 75–105 kilometriä. Mikäli tavoitteena on luokitella havaitut aluskohteet eri alusluokkiin, vaadittava 4,5 metrin alueellinen erotuskyky vähentää käytettävät SAR-satelliitit Cosmo-SkyMed -konstellatioon sekä Radarsat-2- ja TerraSAR-X -satelliitteihin. Aluskohteiden luokitteluun vaadittavalla erotuskyvyllä SAR-satelliittien alueelliseen kattavuuteen vaikuttava pyyhkäisyala pienenee 30–40 kilometriin.

Arvioitaessa SAR-satelliittien alueellista erotuskykyä ja alueellista kattavuutta on huomioita niiden käänteinen suhde. Mitä tarkempaa alueellista erotuskykyä SAR-satelliitilta vaaditaan, sitä pienemmäksi muodostuu alueellinen kattavuus. Alusten luokitteluun vaadittavalla erotuskyvyllä alueellinen kattavuus säilyy Itämerellä kuitenkin kohtalaisena pohjois-etelä suunnassa, jolloin voidaan hyödyntää SAR-satelliittien pitkiä pyyhkäisyaloja. Valvonta-alueen leveys kuitenkin kapenee noin 30–40 kilometriin. Koko Suomenlahden kattava valvonta SAR-satelliiteilla edellyttää useita satelliittien ratakiertoja. Tällöin koko Suomenlahden kattavan valvonta-alueen kuvaaminen voi kestää useita vuorokausia.

Korkeamman erotuskyvyn SAR-satelliittien etuna on lisäksi mahdollisuus käyttää kaksois- tai monipolarisoituja SAR-aineistoja, mikä edelleen parantaa alusten havaittavuutta ja luokittelusta. Polarisoitu SAR-aineisto tuottaa aluskohteista tarkempaa tietoa muun muassa tutka-poikkipinta-aloista ja kansirakenteiden tekstuurista, joita voidaan hyödyntää alusten luokittelussa. Aluskohteiden tunnistamiseen yhdenkään SAR-satelliittijärjestelmän erotuskyky ei riitä. Lisäksi tämän hetken merivalvontajärjestelmissä pelkkää SAR-aineistoa ei käytetä meri-tilannekuvan luomiseen, vaan SAR-aineistolla täydennetään ja varmennetaan muiden valvontasensoreiden tuottamaa tietoa. Aluskohteiden luokittelu ja tunnistaminen perustuu näissä järjestelmissä pääasiassa AIS-tietoihin.

Normaaliolojen aikana SAR-satelliittien aineistoja on saatavilla useilta kaupallisilta yrityksiltä. Näillä palveluntarjoajilla on yleensä käytettävissä useampien eri SAR-järjestelmien kuvauspalvelut, jolloin saavutettava ajallinen erotuskyky pysyy kohtuullisena. Yhtenä mahdollisuutena parantaa SAR-aineistojen saatavuutta on käyttää useampia palveluntarjoajia ja satelliittijärjestelmiä. Tällöin voidaan lisäksi parantaa valvontakyvyn kannalta tärkeää ajallista erotuskykyä. Häiriötilanteiden ja poikkeusolojen aikana SAR-aineistojen saaminen kaupallisilta palveluntarjoajilta on kuitenkin kyseenalaista johtuen kansallisten satelliittijärjestelmien omistajavaltioiden etuoikeudesta satelliittien käyttöön. Toisena mahdollisuutena parantaa SAR-aineistojen saatavuutta on hankkia satelliittiaineistojen vastaanottamiseen soveltuva

maa-asema sekä aineistojen käsittelyyn soveltuvat ohjelmistot. Samalla saadaan käyttöön koko täyden alueellisen erotuskyvyn SAR-aineisto, esimerkiksi aluskohteiden visuaalista luokittelusta varten. Tämä tehostaisi SAR-aineistojen käyttöä tilanteissa, joissa valvottavalta alueelta ei ole saatavissa muuta luokittelusta tai tunnistamista tukevaa valvontatietoa.

Kaupallisia merivalvontapalveluita käytettäessä on huomioitava, että lähtökohtaisesti asiakkaalle toimitetaan valvontatiedot aluskohteista, ei SAR-aineistoja. Valvontatiedot sisältävät tiedot alusten havaintopaikasta, havaintohetkestä, arvioidusta pituudesta, kulkusuunnasta ja nopeudesta sekä muista valvontajärjestelmistä mahdollisesti saadut tunnistetiedot. Tarvittaessa nämä valvontatiedot tulee kyetä liittämään suoraan kansalliseen meritilannekuvaan.

Edellä esitettyjen tutkimustulosten perusteella voidaan johtopäätöksinä arvioida SAR-satelliittien hyödynnettävyyttä merivalvonnassa. Arvioitaessa SAR-satelliittien käytettävyyttä ja hyödyntämistä merivalvonnassa on arviointi toteutettava erikseen normaalioloissa sekä häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. Normaaliolojen aikana Itämereltä on käytettävissä kansainvälisten sopimusten mukaiset valvontatiedot sekä normaaliolojen mukaiset valvontajärjestelyt. Häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa käytettävissä olevat valvonnan tukitiedot ovat rajalliset rajoittuen pienimmillään kansallisella valvontakyvyllä muodostettuun tilannekuvaan. Merivalvontasensorille asetettujen suorituskysymysten ja SAR-sensoreiden suorituskysymysten perusteella tulee arvioinnin lähtökohtana käyttää korkeamman erotuskyvyn SAR-satelliitteja, eli Cosmo-SkyMed konstellaatiota, Radarsat-2- ja TerraSAR-X -satelliitteja, joiden alueellinen erotuskyky riittää aluskohteiden luokitteluun. Aluskohteiden luokitteluun soveltuvalla SAR-aineistolla kyetään jo normaaliolojen aikana parantamaan merivalvonnan tavoitteiden saavuttamisen edellytyksiä ja tuottamaan lisäarvoa merivalvontaan alueilta, jonne oma valvontakyky ei ulotu.

SAR-satelliittien laajaa alueellista kattavuutta voidaan tehokkaimmin hyödyntää valvomalla merialueita, minne kiinteä valvontakyky ei ulotu ja missä liikkuvan valvonnan käyttö ei ole mahdollista. Käytännössä tämä merialue muodostuu satelliittien rataparametrien takia Pohjois-Itämereltä Suomenlahden suun eteläpuoleisilta alueita aina Etelä-Itämerelle. Toisena yksittäisenä merivalvonnan tehostamisen alueena on Suomenlahden pohjukan alue, jossa alueen pienen johdosta voidaan käyttää tarkemman alueellisen erotuskyvyn kuvausmoodeja. Normaaliolojen aikana valvonta voidaan toteuttaa käyttämällä vakioituja valvonta-alueita ja alusten havaitsemiseen riittäviä ScanSAR-kuvausmoodeja. Saatavilla valvontatiedoilla voidaan täydentää ja varmentaa kansainvälisiltä merialueilta saatavaa tilannekuvaa. SAR-

satelliiteilla havaitut aluskohteet voidaan luokitella sekä tunnistaa muiden valvontasensoreiden tietojen perusteella. Samalla valvonta-aineistot yhdistämällä havaitaan alukset, jotka eivät esimerkiksi käytä AIS-lähetintä.

Normaaliolojen toiminnan tavoitteena tulee kuitenkin olla edellytysten luominen SAR-satelliittien hyödyntämiselle häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa. Tämän takia valvottavia merialueita ja käytettävää alueellista erotuskykyä tulisi vaihtaa suunnitelmallisesti, jotta saadaan todellinen kuva muutoksien aiheuttamista aikaviiveistä ja palveluntarjoajien kyvystä tuottaa haluttua aineistoa. ScanSAR-kuvausmoodin vaihtaminen Stripmap- tai jopa Spotlight-kuvausmoodiin kannattaa toteuttaa, mikäli valvonta-alueella liikkuu taistelualuksia, joista tarvitaan SAR-aineistoa kuva- ja signaalikirjaston muodostamiseen tai koulutusmateriaaliksi. Itämeren alueella toimivista taistelualuksista muodostettu kattava SAR-aineistoon perustuva kuva- ja signaalikirjasto helpottaa edelleen aluskohteiden luokittelemista. Tämä kuitenkin edellyttää täyden erotuskyvyn kuva-aineistojen tilaamista ja aineistojen käsittelyyn soveltuviin ohjelmistojen hankkimista.

Häiriötilanteiden ja poikkeusolojen aikana SAR-satelliittien hyödyntämisessä nousee laajan alueellisen kattavuuden lisäksi tärkeimmiksi tekijöiksi ajallinen erotuskyky ja SAR-aineistojen saatavuus. Erityisesti poikkeusolojen aikana merivalvonta ja meritilannekuva muodostetaan lähtökohtaisesti merivoimien omilla sekä aluevalvontaviranomaisten yhteiskäyttöisillä valvontajärjestelmillä. Häiriötilanteiden ja poikkeusolojen aikana Merivoimien tehtävissä korostuvat meriyhteyksien ja meriliikenteen sekä sotilaallisten merikuljetusten suojaaminen. Meriliikenteen ja merikuljetusten suojaamiseen liittyen SAR-satelliittien laajaa valvontakykyä voidaan hyödyntää valvomalla kuljetusten aikana alueita, joista pinta-alukset kykenevät vaikuttamaan kuljetusreiteille. Riittävän kattavan meritilannekuvan ylläpitäminen edellyttää SAR-satelliiteilla suoritettava merialueiden valvonta vähintään neljän tunnin välein sekä seurattavien alusten tai alusosastojen osalta vähintään tunnin välein.

Riittävä ajallinen valvonnan toistettavuus mahdollistaa myös taktisen tason ennakkovaroituksen antamisen. Ennakkovaroituksen tuottamiseen aluksista tai alusosastoista riittää pelkkä havainto, koska lähtökohtaisesti omien taistelualusten sijainnit ovat tiedossa ja kauppa-alusliikenne kulkee tarkasti määritettyjä reittejä. Tällöin kaikki muut havaitut alukset ovat todennäköisesti vieraan valtion aluksia. SAR-satelliittien valvontakyvyn mahdollistamaa ennakkovaroituksen antamiskykyä voidaan hyödyntää suojattaessa aluevesirajan läheisyydessä tapahtuvaa toimintaa, esimerkiksi merimiinoitteiden laskemista tai miinoitteiden raivaamista.

Häiriötilanteissa ja poikkeusoloissa valvottavat merialueet tulisi kuitenkin kyetä rajaamaan esimerkiksi tiedustelusensoreiden avulla riittävän pieniksi, jotta SAR-satelliittien valvontakykyä voitaisiin kohdentaa oikeille alueilla ja valvonnassa käyttää aluskohteiden luokitteluun soveltuvia kuvausmoodeja tarkemman meritilannekuvan muodostamiseksi.

SAR-satelliittien hyödyntämisessä suurimmat rajoitukset ovat vähäisestä kaupallisten SAR-satelliittien määrästä johtuva pieni ajallinen erotuskyky ja sen myötä luokitteluun riittävän alueellisen erotuskyvyn SAR-aineistojen saatavuus. Merivalvonnan kannalta optimaalisin tilanne SAR-satelliittien hyödyntämisessä olisi jatkuva alle tunnin ajallinen erotuskyky. Tällöin valvonta voidaan aloittaa laajan alueellisen kattavuuden kuvausmoodeilla ja siirtyä havaintojen perusteella käyttämään erotuskyvyltään tarkempia kuvausmoodeja aluskohteiden luokitteluun. SAR-satelliittien määrän voidaan arvioida kasvavan tulevaisuudessa, samalla myös kuvaustaajuuudet tulevat paranemaan. Myös alueellinen erotuskyky ja valvontatietojen tarkkuus tulee paranemaan uusien tekniikoiden ja sovellusten myötä, esimerkiksi interferometristen ja polarimetristen SAR-tekniikoiden avulla.

Tutkimustulosten ja SAR-tekniikan kehitysnäkymien perusteella SAR-satelliittien käyttöön liittyvää tutkimus- ja kokeilutoimintaa kannattaa jatkaa. Riittävän ajallisen ja alueellisen erotuskyvyn saavuttamiseksi tulisi keskittyä uusimpien useamman satelliitin konstellatioiden tutkimiseen. Soveltuvia konstellatioita olisivat italialainen Cosmo-SkyMed -konstellatio sekä saksalainen sotilasjärjestelmä SAR-Lupe. Näillä SAR-satelliittijärjestelmillä kyetään saavuttamaan luokitteluun riittävä alueellinen erotuskyky sekä todennäköisesti noin neljän tunnin ajallinen erotuskyky.

Jatkotutkimuksina kannattaisi selvittää oman satelliittiaineistojen vastaanottamiseen soveltuvan maa-aseman ja ohjelmistojen hankkimista. Maa-aseman hankkiminen voidaan myös toteuttaa yhteistoiminnassa muiden viranomaisten kanssa. Muita jatkotutkimuksen aiheita ovat SAR-satelliittien teknisten suoritusrajojen ja kuvausmoodien määrittäminen aluskohteiden luokitteluun luotettavuuden parantamiseksi sekä satelliittiaineistojen käsittelyyn ja merivalvontaan soveltuvien ohjelmistojen ominaisuuksien selvittäminen.

TUTKIELMAN LÄHDELUETTELO

JULKAISEMATTOMAT LÄHTEET

Puolustusvoimien asiakirjat

Puolustusvoimien asianhallintajärjestelmä (PVAH)

Merivoimien lausunto avaruuteen sijoitetusta suorituskyvystä, Merivoimien esikunta, DD8166 (24.8.2007), TLL IV Viranomaiskäyttö.

Merivoimien suorituskyykyjen jatkuvan johtamisen ja merivalvonnan kehittäminen 2010–2012, Merivoimien esikunta, DF12034 (16.12.2009), TLL IV Viranomaiskäyttö.

Puolustusministeriön asiakirjat

Avaruusulottuvuus Suomen puolustuksessa, Puolustusministeriön muistio (247/14/2006), 5.9.2006, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Opinnäytteet

Liimatainen, Ossi: *”Ilmasta suorituskyykyä” UAV-järjestelmä Merivoimien taisteluosaston suorituskyykyyn kehittäjänä*, MPKK, EUK62 tutkielma 2010, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Tolvanen, Pasi: *SAR-satelliitin sotilaalliset käyttömahdollisuudet Suomessa*, MPKK, EUK60 tutkielma 2008, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Ohjesäännöt

Kenttäohjesääntö, yleinen osa. Puolustusjärjestelmän toiminnan perusteet, Pääesikunta/Suunnitteluosasto, Ohjesääntönumero 202, Edita Prima Oy, Helsinki 2007, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Merivalvontaohje (MEVO), Merivoimat, Helsinki 2002, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Merivalvonta-opas (Meva-opas), luonnos, Merivoimat, Edita Prima Oy, Helsinki 2005, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Haastattelut

Aho, Timo: YLIL, Tilannekeskuksen päällikkö, SLMEPA. Aho on työskennellyt tilannekeskuksen päällikön tehtävässä vuodesta 2009. Tätä ennen hän on toiminut SLMEP:n Upinniemen Merivalvontakeskuksen päällikön tehtävässä vuodesta 2003 alkaen. Teemahaastattelu: Merivalvonnan toteutusperiaatteet ja tietotarpeet, 11.3.2011, Upinniemi. Materiaali kirjoittajalla, TLL III Luottamuksellinen.

Dehli, Sigmund: International Sales Manager, KSAT, sähköpostiviesti, 16.3.2011. Materiaali kirjoittajalla.

Kalliomäki, Martti: FT, Tutkimusjohtaja, MERIVTL. Kalliomäki on työskennellyt MERIVTL:llä 1.4.1986 alkaen ja vuoden 1994 alusta alkaen MERIVTL:lla. Kalliomäki jäi eläkkeelle tutkimusjohtajan tehtävästä 1.1.2011 alkaen. Teemahaastattelu: SAR-satelliitit merivoimien

tutkimustoiminnassa 12.11.2010, Espoo. Materiaali kirjoittajalla, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Kemppi, Jari: FM, erikoistutkija ILMAVE. Kemppi on työskennellyt ILMAVE:ssa vuodesta 1991 alkaen. Kemppi toimi vuosina 2003–2006 Euroopan satelliittikeskuksessa (EUSC) Imagery Analyst -tehtävässä. Teemahaastattelu: SAR-satelliittaineistojen saatavuus ja käytettävyys valvonnassa, 24.2.2011, Tikkakoski. Materiaali kirjoittajalla, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Soininen, Olli: YLIL, Järjestelmäpäällikkö, MERIVE. Soininen on työskennellyt MERIVE:ssa vuodesta 2003. Soininen toimii Merivoimien kansallisena yhteyshenkilönä kansainvälisissä merivalvontahankkeissa. Teemahaastattelu: Merivalvonta ja SAR-satelliitit merivoimien tutkimustoiminnassa, 14.12.2010, Helsinki. Materiaali kirjoittajalla, TLL IV Viranomaiskäyttö.

Muut julkaisemattomat lähteet

Indregard, Marte, Bauna, Tony, Soleng, Nina, Jefferies, Bill, O'Neill, Kevin, Harms, Jochen: *“Compass” a joint effort to meet the need for maritime situational awareness*, NATO-NURC conference, 2009.

Jaakkola, Jarmo (toim.): *Suomen meriliikenteen järjestelyt normaali- ja poikkeusoloissa, ”Päämääränä turvatut meriyhteydet”*, Taktiikan laitos 2005, Julkaisusarja 4, työpäpereita, TLL IV Viranomaiskäyttö.

JULKAISTUT LÄHTEET

Tutkimukset ja opinnäytteet

Mika Huttunen ja Jussi Metteri (toim.): *Ajatuksia operaatiotaidon ja taktiikan laadullisesta tutkimuksesta..* Maanpuolustuskorkeakoulu, Taktiikan laitos, Helsinki 2008.

Karjalainen, Mika: *Multidimensional SAR satellite Images – A Mapping Perspective, Doctoral Dissertation 2010*, Aalto University, School of Science and Technology, <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789517112819>

Kirjallisuus

Campbell, James, P.: *Introduction To Remote Sensing*, Third Edition, Taylor & Francis, New York 2002, 621 s.

Cracknell, Arthur, P., Hayes, Ladson: *Introduction To Remote Sensing*, Second Edition, CRC Press, Boca Raton 2007, 335 s.

Eskola, Juha, Suoranta, Juha: *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*, Vastapaino, Tampere 1998, 268 s.

Friedman, Norman: *Seapower And Space*, Chatham Publishing, London 2000, 384 s.

Hirsjärvi, Sirkka, Hurme, Helena: *Tutkimushaastattelu – teemahaastattelun teoria ja käytäntö*, Yliopistopaino, Helsinki 2004, 213 s.

Huhtinen, Aki, Rantapelkonen, Jari: *Taistelut, kokemus ja tieto – Näkemys sotatieteellisestä viestitaktikasta*, Viestikoulu, Loimaa 2001.

Kosola, Jyri ja Solante, Tero: *Digitaalinen taistelukenttä, toinen painos*, Helsinki 2003, 531 s.

Larson, Wiley J., Wertz, James R.: *Space Mission Analysis and Design*, Third Edition, Microcosm Press, California 2005, 976 s.

Puolustusjärjestelmien kehitys - Sotatekninen arvio ja ennuste 2020, osa 2, Pääesikunta sotatalousosasto, Edita Prima Oy, Helsinki 2004, 419 s.

Richards, John A.: *Remote Sensing with Imaging Radar*, Springer-Verlag, Heidelberg 2009, 361 s.

Artikkelit

Kaskeala, Juhani: International sea surveillance co-operation in the Baltic Sea region, *Baltic Rim Economies, Bimontly Reviews* 3/2009, Pan-European Institute, Turku School of Business Administration, ss. 12–13.

Liu, C., Vachon, P.W., Geling, G.W.: Improved ship detection with airborne polarimetric SAR data, *Canadian journal of Remote Sensing*, vol 31, No. 1, 2005, pp. 122-131.

Pyysalo, Raimo: Merivoimat merellisenä viranomaisena, *Rannikon Puolustaja* nro 4/2010, ss. 12–13.

Ravanti, Juha: Merivalvonta ja METO-yhteistyö – kansallinen työ ja kansainvälinen ulottuvuus, *Rannikon Puolustaja* nro 2/2010, ss. 14–17.

Taverna, Michael A., Nativi, Andy, Nativi, Paris: Misis Takes Shape, *Aviation Week & Space Technology*; 2/23/2009 Vol. 170 Issue 8, pp. 36–37.

Tunaley, J.K.E.: Algorithms For Ship Detection and Tracking Using Satellite Imagery, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '04, IEEE International*, vol. 3, 2004, pp. 1804–1807.

Vachon, P.W., Cambell, J.W.M., Bjerkelund, C.A., Dobson, F.W., Rey, M.T.: Ship Detection by the Radarsat SAR: Validation of Detection Model Predictions, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol 23, No. 1, 1997, pp. 48–59.

Österlund, Bo: Mihin tarvitsemme merivoimiamme, *Sotilasaikakausilehti, Helmikuu* 2/2011.

Muut julkaisut

A Congressional Budget Office Study, *Alternatives for Military Space Radar*, The Congress of the United States, Washington DC 2007,
<http://www.cbo.gov/ftpdocs/76xx/doc7691/01-03-SpaceRadar.pdf>.

Kansallinen avaruusstrategia 2009–2011 - periaatteet, tavoitteet ja toimenpiteet, Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, innovaatio 11/2009, Edita Publishing Oy, Helsinki 2009.

NATO STANAG No. 3769 (Second Edition), *Minimum Resolved Object Sizes and Scales for Imagery Interpretation*, 1998

Satellite requirements vs. capabilities, Draft v.1, European Satellite Center 2008.

Sotatekninen arvio ja ennuste 2020 STAE 2020 Osa 2, Pääesikunta Sotatalousosasto, Helsinki 2004.

Suomen turvallisuus- ja puolustuspolitiikka, Valtioneuvoston selonteko VNS X/2009.

Internet lähteet

AIS-alusten automaattinen tunnistusjärjestelmä. Merenkulku.fi,
[http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun
_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/ais](http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/ais)

Astrium GeoInformation Service, TerraSAR-X Archive, [http://terrasar-x-
archive.infoterra.de/](http://terrasar-x-archive.infoterra.de/)

Aluevalvontalaki (755/18.8.2000; KV 303),
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000755>

Bauna, Tony: An operational satellite based multi user service for oil slick and pollution source detection, Kongsberg Satellite Services, Tromsø, Norway 2009,
[http://www.dsr.inpe.br/Brazil_Norway_Workshop/TONY%20BAUNA_An%20operational
%20satellite...EO-based%20services%20for%20maritime....pdf](http://www.dsr.inpe.br/Brazil_Norway_Workshop/TONY%20BAUNA_An%20operational%20satellite...EO-based%20services%20for%20maritime....pdf)

Beer, Thomas: *The GMES Programme*, Galileo Application Days, GMES Master Award, 04 March 2010, Brussels, [http://www.application-
days.eu/presentations/day2/gmes_award_at_galileo_application_days.pdf](http://www.application-days.eu/presentations/day2/gmes_award_at_galileo_application_days.pdf)

Brekke, Camilla: *Automatic ship detection based on satellite SAR*, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 4 May 2009, s. 20,
<http://rapporter.ffi.no/rapporter/2008/00847.pdf>

Brusch, S., Lehner, S., Fritz, T., Schwarz, E., Lehner, S., Hamidi, D.: *Near Real Time Ship Detection Experiments*, <http://earth.eo.esa.int/cgi-bin/confsea10.pl?abstract=471>

Brusch, Stephan, Lehner, Susanne, Fritz, Thomas, Soccorsi, Matteo: *Ship Surveillance With TerraSAR-X*, http://www.nova.edu/ocean/Physics/PDF/Brusch_et_al_2010.pdf

COSMO-SkyMed System Description & User Guide, Italian Space Agency 2007,
<https://cosmo-skymed-ao.asi.it/asi/asi?aoname=cosmo&cmd=aodetail>

CSTARS: *Satellite Specifications*. [http:// www.cstars.miami.edu](http://www.cstars.miami.edu)

Davis, Thomas, Straight, Stanley: *Development of the Tactical Satellite 3 for Responsive Space Missions*, AIAA – 4th Responsive Space Conference 2006,
[http://www.responsivespace.com/Papers/RS4%5CPresentations%5CRS4_4003C_Davis.pd
f](http://www.responsivespace.com/Papers/RS4%5CPresentations%5CRS4_4003C_Davis.pdf)

DiPietro, R., C., Perry, R., P., Fante, R., L., Teng, C.: *SAR Imaging and Detection of Moving Targets*, Mitre Publications 2009,
http://www.mitre.org/news/the_edge/september_99/dipietro.html

Envisat, Euimage, <http://www.eurimage.com/products/docs/envisat.pdf>

ERS-2 (European Remote-Sensing Satellite-2),
http://www.eoportal.org/directory/pres_ERS2EuropeanRemoteSensingSatellite2.html

Gabban, A., Greidanus, H., Smith, A.J.E., Anitori, L., Thoorens, F.X. & Mallorqui, J.: *Ship surveillance with TerraSAR-X scansar*, http://sss.terrasar-x.dlr.de/papers_sci_meet_3/paper/OCE0105_gabban.pdf

Greidanus, Harm, Kourti, Naouma: *Findings of the declims project - detection and classification of marine traffic from space*,
http://earth.esa.int/seasar06/proceedings/papers/s5_12_gre.pdf

Hyypä Juha: *General features of Synthetic Aperture Radar Imagery*, Remote Sensing for Companies,
http://www.fgi.fi/osastot/projektisivut/kk_www_portaali/rswww/vhrSAR_yleis.html

Jane's Fighting ship, tietokantaa käytetty Puolustusvoimien koulutusportaalin kautta

KSPT Satellite ground station components for Sodankylä Groundstation, Finland,
<http://www.spacotec.no/news/kspt-satellite-ground-station-components-for-sodankyla-groundstation-finland>

Lorenzetti, Joao A., Paes, Rafael L., Gherardi, Douglas M.: *A performance comparison of a CFAR ship detection algorithm using Envisat, Radarsat, Cosmo-Skymed and TerraSAR-X images*, SEASAR 2010, The 3rd International Workshop on Advances in SAR Oceanography from Envisat, ERS and ESA third party missions,
http://earth.eo.esa.int/workshops/seasar2010/participants/370/pres_370_Lorenzetti.pdf

Maritime Surveillance, *EDA Bulletin, Issue 13 – February 2010a*,
<http://www.eda.europa.eu/documents.aspx>

Maritime Surveillance, *e-GEOS, communication /04-2010b*, <http://www.e-geos.it/applications/maritime.html>

MEOS SAR Ship Detection, http://www.spacotec.no/download_docs/doc_pdf/SAR-SHIP.pdf/view

NIIRS-luokittelutaulukko, <http://www.fas.org/irp/imint/niirs.htm>

Oswald Michael, Younis Marwan, Rodriguez-Cassola Marc: *Feasibility Study on Satellite-Unmanned Airborne Systems Cooperative Approaches for the Improvement of all-Weather Day and Night Operations*, Executive summary, EADS Astrium 2009,
<http://esamultimedia.esa.int/docs/gsp/completed/C22448ExS.Pdf>

PortNet, Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/portnet

Puolustustilalaki 22.7.1991/1083, <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19911083>

RADARSAT Systems: Satellite Characteristics, Canadian Space Agency, <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/radarsat-tableau.asp>

Rajavartiolaitos,

<http://www.intermin.fi/rvl/bulletin.nsf/PFBD/34773956E169D7A9C2256E27002CA6E5?opendocument>

Steinbakk, Line: KSAT as a provider of operational services for European maritime environment, safety and security, <http://www.nersc.no/NTVA/Presentations/2009/L-Steinbakk-NTVA-290909.pdf>

Suomenlahden alusliikenteen pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä (GOFREP), Merenkulku.fi, http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/gofrep

TanDEM-X, The Earth in three dimensions, DLR,

http://www.dlr.de/eo/en/desktopdefault.aspx/tabid-5727/10086_read-21046/

TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document, CAF – Cluster Applied Remote Sensing 2010, http://www.infoterra.de/asset/cmc/tx-gs-dd-3302_basic-product-specification-document_v1.7.pdf

Vachon, Paris W.: *Ship Detection in Synthetic Aperature Radar Imagery*, Proceedings OceansSAR 2006 – Third Workshop on Coastal and Marine Applications of SAR, Canada 2006, http://www.oceansar2006.com/papers/82_Vachon_Oceansar2006.pdf

Van der Sanden, J. J., Ross, S. G. (eds.): *Applications Potential of RADARSAT-2 - A Preview*, Canada 2001, <http://www.radarsat2.info/application/marine/radarsat-2report.pdf>

VTs – Vessel Traffic Service, Merenkulku.fi,

http://www.portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus/alusliikennepalvelut/vts

Wang Juan, Sun Lijie, Zhang Xuelan: *Study Evolution of Ship target Detection and Recognition in SAR imagery*, Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing (ISIP'09), China 2009, pp. 147–150,

<http://www.academypublisher.com/proc/isip09/papers/isip09p147.pdf>

What are polar-orbiting satellites,

http://www.eol.ucar.edu/cds/services/satellite/html/home_basic/polar-info.htm

Koonnos SAR-satelliittien teknisistä ominaisuuksista

Satelliitti	käyttönotovuosi	kuvausmuodot	nimellinen erotuskyky	Pyyhkäisy-ala	Ajallinen erotuskyky	Polarisaatio	Tulokulma
Cosmo-SkyMed ¹⁷³	2007	Spotlight Stripmap: - Himage - PingPong ScanSAR - wide - Huge	1 m 3 m 5 m 30 m 100 m	11 km 40 km 30 km 100 km 200 km	12 h täydellä konstellaatiolla (4 satelliittia)	HH, VV HH, HV, VH, VV HH/VV, HH/HV, VV/VH HH, HV, VH, VV	25°–50° raj. erotuskyky: 20°–25° 50°–59,5°
Envisat ASAR ¹⁷⁴	2002	Stripmap ScanSAR, AP ScanSAR, AP	30 m 30 m 150 m	56–105 km 105 km 400 km	2–3 päivää	HH, VV HH, VV, HH/HV, VV/VH HH/VV	15°–45°
ERS-2 ¹⁷⁵	1995	Stripmap	25 m	100 km	3 päivää	VV	20°–26°
Radarsat-1 ¹⁷⁶	1995	Fine beam Standard beam ScanSAR	8 m 20 m 50 m	45 km 100 km 300 km	> 70° N päivittäin > 48° N joka 4 päivä	HH	10°–60°
Radarsat-2 ¹⁷⁷	2007	Ultra-Fine Fine Standard Wide ScanSAR Narrow ScanSAR Wide ScanSAR Extended	3 m 10 m 25 m 25 m 50 m 100 m 18 m	20 km 50 km 100 km 170 km 300 km 500 km 75 km	> 70° N päivittäin > 48° N 1–2 päivää	HH, VV HH, VV, HV, VH HH, VV	30°–49° 30°–50° 20°–49° 20°–45° 20°–46° 20°–49° 49°–60°
TerraSAR-X ¹⁷⁸ TanDEM-X ¹⁷⁹	2007 2010	Spotlight Stripmap ScanSAR	1,1 m 3,3 m 18,5 m	10 x 10 km (single) 10 x 5 km (dual) 30 x 50 km (single) 15 x 50 km (dual) 100 x 150 km	2,5 päivää	HH, VV, HH/VV HH, VV, HH/VV, VV/VH	20°–55° 20°–45° 20°–45°

¹⁷³ COSMO-SkyMed System Description & User Guide, Italian Space Agency 2007, <https://cosmo-skymed-ao.asi.it/asi/asi?aoname=cosmo&cmd=aodetail>, 24.1.2011.

¹⁷⁴ Envisat, Euimage, <http://www.eurimage.com/products/docs/envisat.pdf>, 24.1.2011.

¹⁷⁵ ERS-2 (European Remote-Sensing Satellite-2), http://www.eoportal.org/directory/pres_ERS2EuropeanRemoteSensingSatellite2.html, 24.1.2011.

¹⁷⁶ RADARSAT Systems: Satellite Characteristics, Canadian Space Agency, <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat/radarsat-tableau.asp>, 24.1.2011.

¹⁷⁷ Van der Sanden, J., J., & Ross, S. G. (eds.): Applications Potential of RADARSAT-2 - A Preview, Canada 2001, <http://www.radarsat2.info/application/marine/radarsat-2report.pdf>, 24.1.2011.

¹⁷⁸ TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document, CAF – Cluster Applied Remote Sensing 2010, http://www.infoterra.de/asset/cmc/tx-gs-dd-3302_basic-product-specification-document_v1.7.pdf, 23.2.2011.

¹⁷⁹ TanDEM-X, The Earth in three dimensions, DLR, http://www.dlr.de/eo/en/desktopdefault.aspx/tabid-5727/10086_read-21046/, 22.3.2011.




















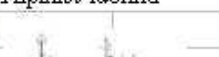


National Image Interpretability Rating Scales-taulukko

NIIRS 1 [over 9.0 m GRD]	
Visible NIIRS	Radar NIIRS
Detect a medium-sized port facility and/or distinguish between taxi-ways and runways at a large airfield.	Detect the presence of aircraft dispersal parking areas. Detect a large cleared swath in a densely wooded area. Detect, based on presence of piers and warehouses, a port facility. Detect lines of transportation (either road or rail), but do not distinguish between.
NIIRS 2 [4.5 - 9.0 m GRD]	
Detect large hangars at airfields. Detect large static radars (e.g., AN/FPS-85, COBRA DANE, PECHORA, HENHOUSE). Detect military training areas. Identify an SA-5 site based on road pattern and overall site configuration. Detect large buildings at a naval facility (e.g., warehouses, construction hall). Detect large buildings (e.g., hospitals, factories).	Detect the presence of large (e.g., BLACKJACK, CAMBER, COCK, 707, 747) bombers or transports. Identify large phased array radars (e.g., HEN HOUSE, DOG HOUSE) by type. Detect a military installation by building pattern and site configuration. Detect road pattern, fence, and hardstand configuration at SSM launch sites (missile silos, launch control silos) within a known ICBM complex. Detect large non-combatant ships (e.g., freighters or tankers) at a known port facility.
NIIRS 3 [2.5 - 4.5 m GRD]	
Identify the wing configuration (e.g., straight, swept, delta) of all large aircraft (e.g., 707, CONCORD, BEAR, BLACKJACK). Identify radar and guidance areas at a SAM site by the configuration, mounds, and presence of concrete aprons. Detect a helipad by the configuration and markings. Detect the presence / absence of support vehicles at a mobile missile base. Identify a large surface ship in port by type (e.g., cruiser, auxiliary ship, noncombatant/merchant). Detect trains or strings of standard rolling stock on railroad tracks (not individual cars).	Detect medium-sized aircraft (e.g., FENCER, FLANKER, CURL, COKE, F-15). Identify an ORBITA site on the basis of a 12 meter dish antenna normally mounted on a circular building. Detect vehicle revetments at a ground forces facility. Detect vehicles/pieces of equipment at a SAM, SSM, or ABM fixed missile site. Determine the location of the superstructure (e.g., fore, amidships, aft) on a medium-sized freighter. Identify a medium-sized (approx. six track) railroad classification yard.
NIIRS 4 [1.2 - 2.5 m GRD]	
Identify all large fighters by type (e.g., FENCER, FOXBAT, F-15, F-14). Detect the presence of large individual radar antennas (e.g., TALL KING). Identify, by general type, tracked vehicles, field artillery, large river crossing equipment, wheeled vehicles when in groups. Detect an open missile silo door. Determine the shape of the bow (pointed or blunt/rounded) on a medium-sized submarine (e.g., ROMEO, HAN, Type 209, CHARLIE 11, ECHO 11, VICTOR II/III). Identify individual tracks, rail pairs, control towers.	Distinguish between large rotary-wing and medium fixed-wing aircraft (e.g., HALO helicopter versus CRUSTY transport). Detect recent cable scars between facilities or command posts. Detect individual vehicles in a row at a known motor pool. Distinguish between open and closed sliding roof areas on a single bay garage at a mobile missile base. Identify square bow shape of ROPUCHA class (LST). Detect all rail/road bridges.
NIIRS 5 [0.75 - 1.2 m GRD]	
Distinguish between a MIDAS and a CANDID by the presence of refueling equipment (e.g., pedestal and wing pod). Identify radar as vehicle-mounted or trailer-mounted. Identify, by type, deployed tactical SSM systems (e.g., FROG, SS-21, SCUD). Distinguish between SS-25 mobile missile TEL and Missile Support Vans (MSVS) in a known support base, when not covered by camouflage. Identify TOP STEER or TOP SAIL air surveillance radar on KIROV-, SOVREMENNY-, KIEV-, SLAVA-, MOSKVA-, KARA-, or KRESTA-II-class vessels.	Count all medium helicopters (e.g., HIND, HIP, HAZE, HOUND, PUMA, WASP). Detect deployed TWIN EAR antenna. Distinguish between river crossing equipment and medium/heavy armored vehicles by size and shape (e.g., MTU-20 vs. T-62 MBT). Detect missile support equipment at an SS-25 RTP (e.g., TEL, MSV). Distinguish bow shape and length/width differences of SSNS. Detect the break between railcars (count railcars).

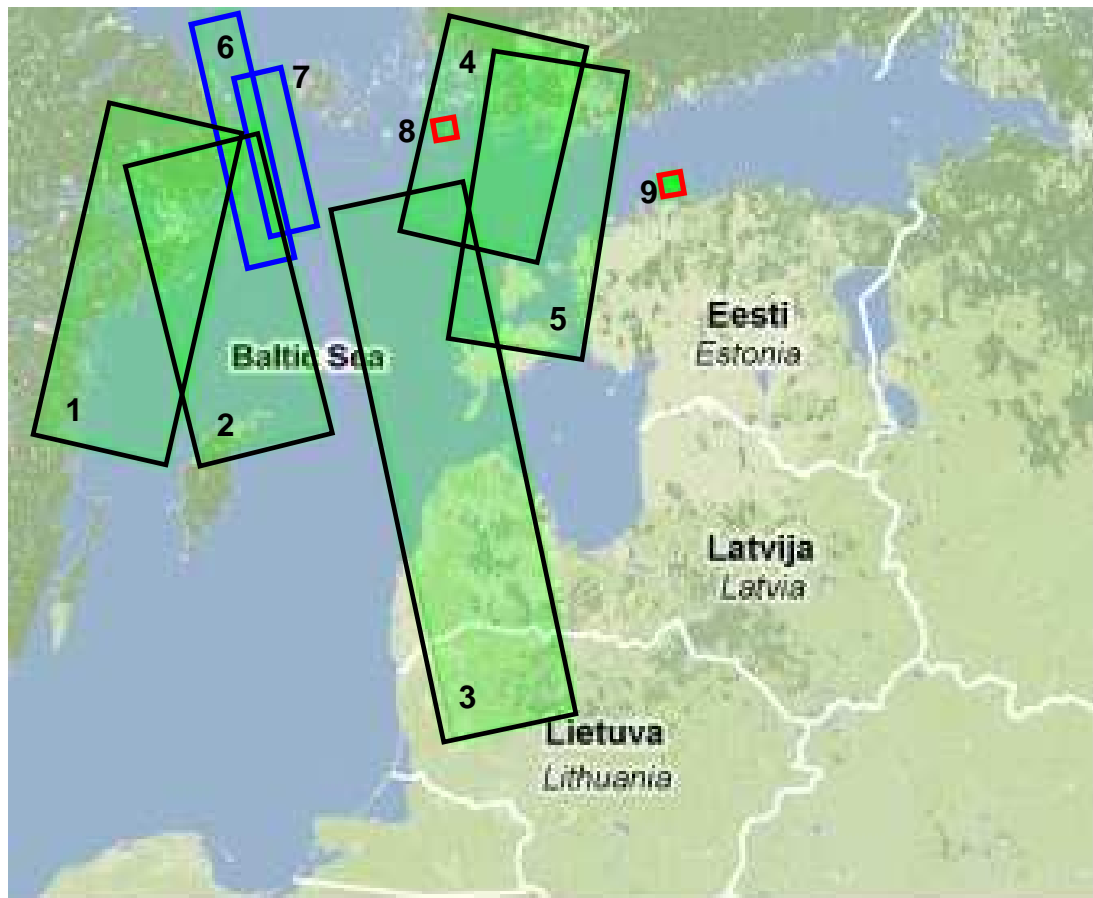
NIIRS 6 [0.40 - 0.75 m GRD]	
<p>Distinguish between models of small/medium helicopters (e.g., HELIX A from HELIX B from HELIX C, HIND D from HIND E, HAZE A from HAZE B from HAZE C).</p> <p>Identify the shape of antennas on EW/GCI/ACQ radars as parabolic, parabolic with clipped comers or rectangular.</p> <p>Identify the spare tire on a medium-sized truck.</p> <p>Distinguish between SA-6, SA- I 1, and SA- 17 missile airframes.</p> <p>Identify individual launcher covers (8) of vertically launched SA-N-6 on SLAVA-class vessels.</p>	<p>Distinguish between variable and fixed-wing fighter aircraft (e.g., FENCER vs. FLANKER).</p> <p>Distinguish between the BAR LOCK and SIDE NET antennas at a BAR LOCK/SIDE NET acquisition radar site.</p> <p>Distinguish between small support vehicles (e.g., UAZ-69, UAZ-469) and tanks (e.g., T-72, T-80).</p> <p>Identify SS-24 launch triplet at a known location.</p> <p>Distinguish between the raised helicopter deck on a KRESTA II (CG) and the helicopter deck with main deck on a KRESTA I (CG).</p>

Täydellinen NIIRS-luokittelutaulukko saatavissa <http://www.fa.s.org/irp/imint/niirs.htm>, 16.1.2011.

Koonnos Itämerellä toimivista taistelualuksista

Luokka	Saksa	Ruotsi	Venäjä	Suomi
hävittäjä			Sovremenny-luokka  p: 156,5 m l: 17,2 m n: 32,7 s	
fregatti	Sachsen-luokka  p: 143 m l: 17,4 m n: 29 s		Krivak-luokka  p: 123,5 m l: 14,3 m n: 32 s	
korvetti	Braunschweig-luokka  p: 88,8 m l: 13,2 m n: 26 s	Visby-luokka  p: 72,7 m l: 10,4 m n: 35 s Göteborg-luokka  p: 57 m l: 8 m n: 30 s	Nanuchka-luokka  p: 59,3 m l: 11,8 m n: 33 s Tarantul-luokka  p: 56,1 m l: 11,5 m n: 36 s	Hämeenmaa-luokka  p: 77,8 m l: 11,6 m n: 20 s Hamina-luokka  p: 50,8 m l: 8,3 m n: 32 s
miinalaiva koululaiva		Carlskrona-luokka  p: 105,7 m l: 15,2 m n: 20 s	Smolny-luokka  p: 138 m l: 16,2 m n: 20 s	Pohjanmaa  p: 78,2 m l: 11,6 m n: 19 s
miinan- raivaaja miinan- etsijä	Frankenthal class  p: 54,5 m l: 9,2 m n: 18 s	Styrsö-luokka  p: 36 m l: 7,9 m n: 13 s	Sonya-luokka  p: 48 m l: 8,8 m n: 15 s	Katanpää-luokka  p: 52,5 m l: 9,9 m n: 13 s
tiedustelu- alus	Oste-luokka  p: 83,5 m l: 14,6 m n: 21 s	HMS Orion  p: 61,2 m l: 11,7 m n: 12 s	Alpinist-luokka  p: 54 m l: 10,5 m n: 13 s	
ilmatyyny- alus			Pomornik-luokka  p: 57,6 m l: 25,6 m n: 63 s	
maihin- nousualus			Ropuchka-luokka  p: 112,5 m l: 15 m n: 17,5 s	

TerraSAR-X -satelliitin kuvausmoodien alueellinen kattavuus Itämeren alueella

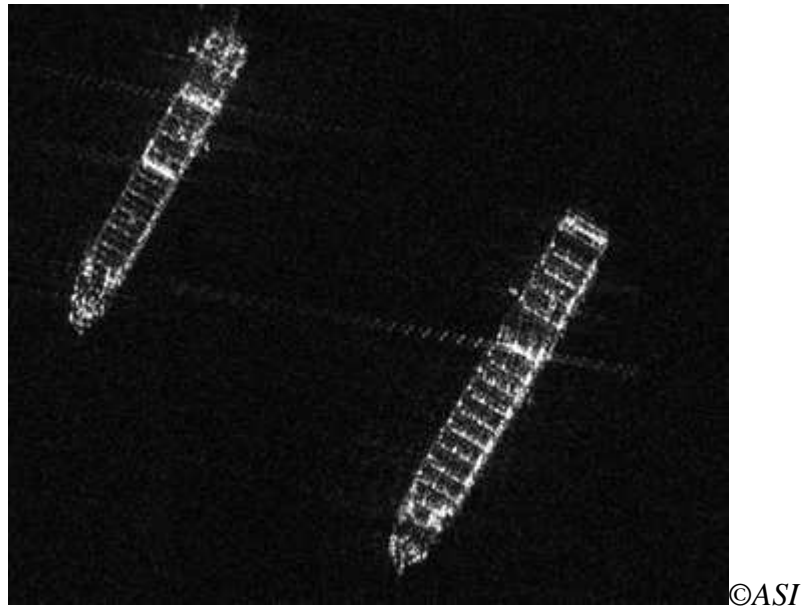


Nro	Kuvausmoodi	väri
1	ScanSAR	musta
2	ScanSAR	musta
3	ScanSAR	musta
4	ScanSAR	musta
5	ScanSAR	musta
6	Stripmap	sininen
7	Stripmap	sininen
8	Spotlight	punainen
9	Spotlight	punainen

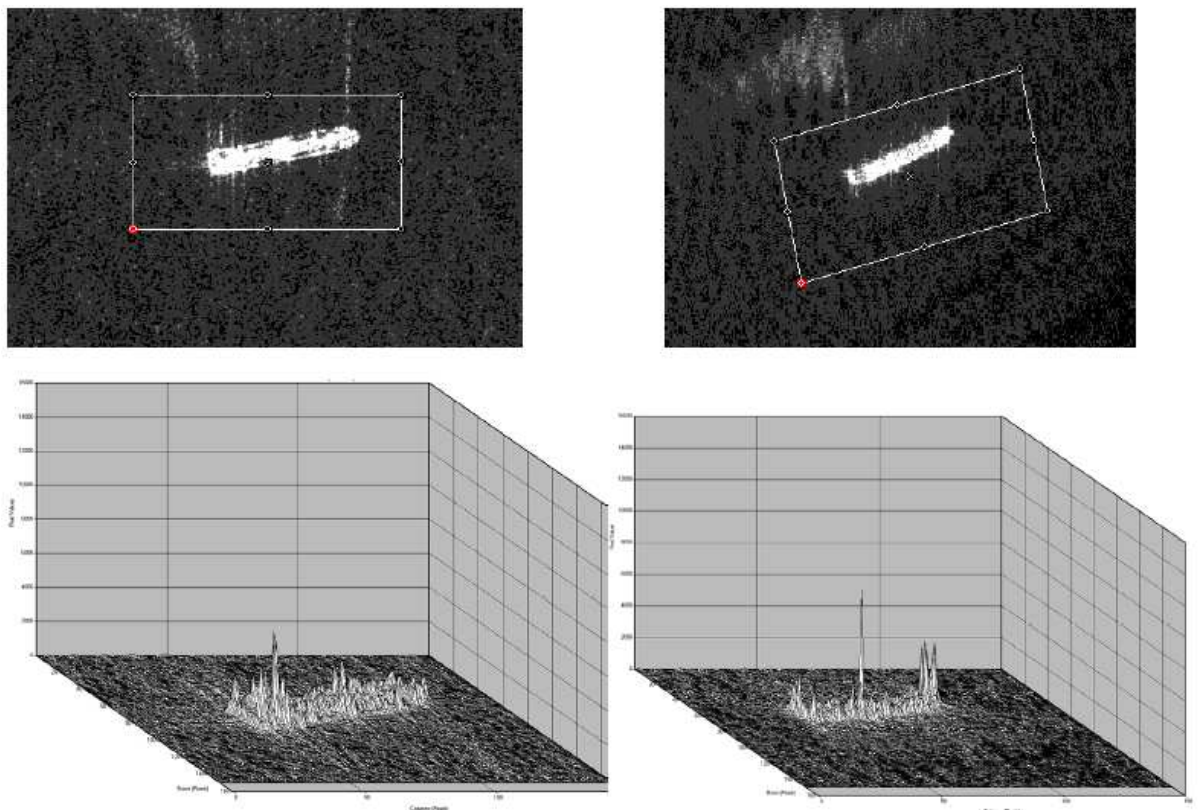
Lähde:

Astrium GeoInformation Service, TerraSAR-X Archive, <http://terrasar-x-archive.infoterra.de/>

Alusten luokittelu ja tunnistaminen korkean erotuskyvyn satelliittikuvista



Kuva A: kaksi rahtialusta kuvattuna Cosmo-SkyMed-satelliitin Spotlight-kuvausmoodilla, jossa alueellinen erotuskyky on noin 1 metriä.¹⁸⁰



Kuva B. Kuvasarjassa on kaksi rahtialusta kuvattuna TerraSAR-X-satelliitin Stripmap-kuvausmoodilla¹⁸¹. Ylempi kuva (intensiteettikuva) aluksen visuaalista tarkastelua varten ja alempi kuva aluksen tarkemman tekstuurin tarkastelua varten. Molempien alusten tekstuurista voidaan havaita komentosillan sijainti voimakkaana tutkakaikuna sekä oikeassa kuvassa kannen keskiosasta tuleva voimakas tutkakaiku.

¹⁸⁰ e-GEOS: Maritime Surveillance, <http://www.e-geos.it/applications/maritime.html>, 7.3.2011.

¹⁸¹ Brekke, Camilla, Automatic ship detection based on satellite SAR, FFI-rapport 2008/00847, Forsvarets forskningsinstitutt/Norwegian Defence Research Establishment (FFI) 2009, s. 11–12.